

ANALYSE COMPARATIVE ENVIRONNEMENTALE DU CYCLE DE VIE D'UNE MAISON
AUTONOME ET UNE MAISON TRADITIONNELLE DANS LE CONTEXTE QUÉBÉCOIS

Par
Yona QI

Essai présenté en vue de l'obtention du grade
de maître en environnement, double diplôme avec
l'Université de Technologie de Troyes (M. Env)

Sous la direction de Ben Amor

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Septembre 2020

SOMMAIRE

Mots clés : bâtiment durable, maison autonome, analyse de cycle de vie, durabilité, impacts, maison individuelle, gaz à effet de serre, changement climatique, résilience.

Les bâtiments occasionnent de nombreux impacts environnementaux tout au long de leur cycle de vie et se positionnent comme un enjeu capital de la lutte dans les problématiques environnementales actuelles. Face à l'urgence climatique, une demande et une volonté d'agir sur les enjeux environnementaux se font de plus en plus sentir auprès de la population, conduisant notamment à se diriger vers des alternatives plus durables. Ce changement de paradigme s'observe dans le secteur du bâtiment par une transition progressive vers des bâtiments à faibles émissions ou bâtiments autonomes depuis 1990.

Les structures autonomes se présentent comme une solution adéquate à la problématique environnementale relative à l'industrie du bâtiment. En effet, ces structures s'alignent avec la nature afin de répondre aux besoins essentiels en eau, en électricité et en nourriture, tout en limitant les impacts écologiques. Toutefois, le contexte énergétique et hydrique favorable du Québec ainsi que les installations, les matériaux et les connaissances spécifiques additionnels amènent à se questionner sur la pertinence de ces structures sur le territoire. L'objectif de cet ouvrage est d'évaluer les impacts environnementaux d'une maison autonome au Québec, afin d'identifier si de potentiels avantages pourraient en découler par rapport aux maisons traditionnelles.

Après un état des lieux du secteur de la construction et du bâtiment et une présentation des habitations autonomes et de leurs enjeux dans les climats froids, une analyse de cycle de vie comparative des impacts environnementaux des deux structures évalue de plus grands impacts pour la structure traditionnelle avec des écarts variant entre 20% et 70% selon les catégories d'impact. De même, dépendamment des matériaux utilisés, une analyse de contribution de phase révèle une plus grande contribution de la phase de construction pour la structure conventionnelle et de la phase de maintenance pour la structure autonome au niveau de leurs impacts environnementaux. Une analyse complémentaire de durabilité vient confirmer ces résultats via une grille d'analyse et conclut une meilleure durabilité pour la structure autonome. Suite aux résultats obtenus, des recommandations sont émises en vue de réduire les impacts associés aux habitations conventionnelles, dont le choix de la superficie, l'acquisition d'appareils moins énergivores et l'utilisation de matériaux écologiques lors de la construction et des rénovations. Des suggestions ont également été formulées dans le but d'optimiser les habitations autonomes compte tenu du contexte québécois, notamment privilégier une conception simple pour des questions de réalisation technique, se concentrer sur le choix des matériaux et s'orienter provisoirement vers un mode d'habitation solaire passif, vu les ressources renouvelables actuelles du pays. Enfin, des recommandations sont destinées aux occupants, notamment sur leur mode de vie de manière à réduire les impacts liés à leurs consommations comme l'achat local et la production durable. Ainsi, cet ouvrage met en évidence la nécessité de se tourner vers des alternatives plus résilientes et d'initier le changement vers une société durable.

REMERCIEMENTS

C'est à Ben Amor, directeur de cet essai, et Bastien Roure que vont d'abord mes remerciements pour leurs précieux conseils, leur disponibilité et leur encadrement tout au long de ce travail. J'ai beaucoup appris à vos côtés. Je remercie également Sabrina Dermine Brullot pour son encadrement lors de cet essai.

Je remercie particulièrement Maëlle Tripon, très bonne amie en plus d'être ma relectrice, sans qui cet essai ne serait pas le même. Je te remercie pour ton soutien perpétuel lors de cette aventure et d'avoir su me motiver lors des moments les plus difficiles. Un grand merci à Arnaud pour la relecture !

Je remercie également Marc Barussaud et Arnaud Raibaldi pour la relecture de mon essai et leurs commentaires pertinents.

Je tiens également à remercier chaleureusement mes proches, famille et amis de la maîtrise, pour leur soutien inconditionnel et leur bonne humeur, en particulier Arnaud Raibaldi et Victor Grivegnée-Dumoulin.

Un merci sincère aux experts Stéphane Bernier et Rémi Pratt, ainsi qu'aux spécialistes de la Ferblanterie de l'Est pour leurs informations et leur temps accordé.

Un merci particulier à Flore, pour ta gentillesse et surtout pour le popcorn, source d'énergie et de motivation lors de la réalisation de mon essai, tu es une personne incroyable !

Enfin, un merci tout spécial à mon chéri Patrick Bourgeois-Hope, dont la patience, la confiance et les encouragements ont été des atouts indéniables pour cette production de fin d'études. Tu m'as apporté beaucoup de motivation et de bonheur lors de ces derniers mois, merci.

" Pour ce qui est de l'avenir, il ne s'agit pas de le prévoir, mais de le rendre possible. "
– Antoine de Saint Exupéry, *Citadelle*, 1948

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
1. L'INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION.....	4
1.1. Portrait du secteur de la construction au Canada et au Québec.....	4
1.2. Secteur de la construction, un écosystème d'affaire à retombées diverses.....	5
1.3. Le secteur résidentiel au Québec	6
1.3.1. Évolution du secteur résidentiel au Québec	6
1.3.2. Évolution du concept de la maison québécoise	8
1.4. Portrait d'un ménage moyen québécois.....	9
1.4.1. Ménage standard québécois	9
1.4.2. Type d'habitation privilégié	10
1.4.3. Consommation des ménages	10
1.4.4. Utilisation de l'énergie au Québec	11
1.4.5. Consommation de chauffage et d'électricité.....	12
1.4.6. Consommation de l'eau	13
1.4.7. Dépenses de transport des consommateurs.....	13
2. CONTEXTE DU BÂTIMENT DURABLE	14
2.1. Impacts environnementaux des bâtiments	14
2.2. Les points critiques des impacts des bâtiments.....	14
2.2.1. La contribution énergétique des bâtiments.....	15
2.2.2. Les matières résiduelles liées au secteur de la construction	16
2.2.3. La sélection des matériaux	17
2.3. Systèmes de certifications du secteur du bâtiment au Québec.....	18
2.4. Les maisons autonomes et leurs enjeux dans les climats froids	20
2.4.1. Définition et caractéristiques des maisons autonomes	21
2.4.2. Les maisons autonomes au Québec	22
2.5. Les enjeux des maisons autonomes dans les climats froids	23
2.5.1. Les enjeux économiques	23
2.5.2. Les enjeux environnementaux.....	26
2.5.3. Les enjeux sociaux	28
2.5.4. Les enjeux techniques	31
2.5.5. Les enjeux réglementaires.....	32
3. RÉALISATION D'UNE ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DE CYCLE DE VIE COMPARATIVE D'UNE MAISON AUTONOME ET UNE MAISON TRADITIONNELLE QUÉBÉCOISE	35

3.1. Présentation de la méthodologie	35
3.2. Objectifs	36
3.3. Champ de l'étude	36
3.3.1. Fonction	36
3.3.2. Unité fonctionnelle	36
3.3.3. Flux de référence	37
3.4. Description du système de produits et frontières	37
3.4.1. Champs d'analyse comparative	37
3.4.2. Description des processus et du système de produits	37
3.4.3. Frontières du système	38
3.4.4. Critère d'exclusion	38
3.5. Inventaire du cycle de vie	38
3.5.1. Données primaires	38
3.5.2. Données secondaires	39
3.6. Évaluation de l'impact du cycle de vie (EICV)	40
3.6.1. Choix des méthodes	40
3.6.2. Description des méthodes	40
3.6.3. Limitations des méthodes d'EICV	42
3.6.4. Regroupement des processus	42
3.6.5. Résultats bruts	42
4. INTERPRÉTATION	45
4.1. Analyse de contribution	45
4.2. Interprétation	46
5. LIMITES ET ANALYSE DE DURABILITÉ	50
5.1. Limites	50
5.2. Analyse de durabilité	50
5.2.1. Choix des indicateurs	50
5.2.2. Système d'évaluation	53
5.2.3. Résultats	55
6. RECOMMANDATIONS ET PRISE DE POSITION	56
6.1. Axes d'amélioration liés à la durabilité des maisons traditionnelles	56
6.1.1. Réduire la superficie d'habitation	56
6.1.2. Réduire sa consommation d'énergie	56
6.1.3. Réduire sa consommation d'eau	56
6.1.4. Privilégier des matériaux écologiques	57
6.1.5. Privilégier l'achat et la production locale	57

6.2 Suggestions reliées aux maisons autonomes.....	57
6.2.1 Autonomie énergétique.....	57
6.2.2 Autonomie en eau.....	58
6.2.3 Plan de conception	58
6.2.4 Viser l'autoconstruction.....	58
6.2.5 Penser à long terme de façon stratégique.....	58
6.3 Amélioration à apporter à la présente étude.....	59
6.3.1 Prendre en compte les équipements intérieurs.....	59
6.3.2 Réaliser une analyse économique de cycle de vie	59
CONCLUSION	60
LISTE DES RÉFÉRENCES.....	61
ANNEXES.....	70

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1	Corrélation entre le PIB, l'emploi et les dépenses d'immobilisations totales	6
Figure 1.2	Évolution des dépenses d'immobilisations en construction au Québec, en Ontario et au Canada, 2000 – 2009	7
Figure 1.3	Évolution des mises en chantier au Québec de 2004 à 2017, avec des prévisions 2018-2019	7
Figure 1.4	Nombre moyen de personnes par ménage et nombre de ménages au Canada, de 1851 à 2011	9
Figure 1.5	Répartition de la consommation moyenne d'électricité par usage d'une habitation individuelle avec système de climatisation	11
Figure 1.6	Consommation totale par secteur d'activité au Québec en 2017	12
Figure 1.7	Comparaison de la consommation énergétique par habitant du Québec en 2017	12
Figure 2.1	Répartition globale de la consommation énergétique finale et émissions du secteur de la construction et des bâtiments en 2018	14
Figure 2.2	Les répercussions de l'exploitation et de la construction d'un bâtiment le long de son cycle de vie	15
Figure 2.3	Marchés et débouchés potentiels des matières issues des résidus de CRD	16
Figure 2.4	Gestion des résidus	17
Figure 2.5	Composition et répartition des matières résiduelles CRD sortant des écocentres au Québec	17
Figure 2.6	Évolution des certifications environnementales en fonction du temps dans le monde et au Canada.....	18
Figure 2.7	Les tarifs québécois les plus bas de l'Amérique du Nord	23
Figure 2.8	Application de l'inertie thermique des matériaux dans le cas d'une maison résidentielle	27
Figure 2.9	Les facteurs influençant l'exposition aux contaminants extérieurs et intérieurs	29
Figure 3.1	Cadre d'une ACV (ISO 14040, 2006)	35
Figure 3.2	Champs d'études de l'étude.....	37
Figure 3.3	Mécanisme environnemental de cause-effet	40
Figure 3.4	Schéma global de la méthode IMPACT 2002+	42
Figure 3.5	Résultats de la comparaison des problèmes des deux structures (Mid-Point).....	43
Figure 3.6	Résultats de la comparaison des dommages des deux structures (End-Point)	43
Figure 3.7	Étude des dommages (End-point)	44
Tableau 1.1	Emplois, dépense d'immobilisation et part du PIB liés au secteur de la construction	4
Tableau 4.1	Analyse de contribution de chacune des phases du cycle de vie de la maison autonome aux quatre catégories d'impacts de dommages.	45
Tableau 4.2	Analyse de contribution de chacune des phases du cycle de vie de la maison traditionnelle aux quatre catégories d'impacts de dommages.....	45
Tableau 5.1	Catégorie d'indicateurs sélectionnés.....	52

Tableau 5.2 Indicateurs et critères sélectionnés.....	53
Tableau 5.3 Échelle de performance	54
Tableau 5.4 Pondération des critères	54

LISTE DES ACRONYMES, SYMBOLES ET CIGLES

APCHQ	Association des Professionnels de la Construction et de l'Habitation du Québec
AFNOR	Association Française de NORmalisation
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology
CCQ	Commission de la Construction du Québec
CPQ	Conseil du Patronat du Québec
CRD	Résidus de construction, de rénovation et de démolition
EICV	Évaluation des Impacts du Cycle de Vie
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
HQE	Haute Qualité Environnementale
ICV	Inventaire du Cycle de Vie
LCA	Life Cycle Assessment
LBC	Living Building Challenge
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
LQE	Loi sur la Qualité de l'Environnement
MEI	Ministère de l'Économie et de l'Innovation
MELCC	Ministère de l'Environnement et Lutte contre les Changements Climatiques
MDDEP	Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs
PIB	Produit intérieur Brut
RBQ	Régie du bâtiment du Québec

LEXIQUE

Analyse de cycle de vie (ACV)	L'ACV est une méthode scientifiquement reconnue et normée qui recense et quantifie les flux physiques d'énergie et de matière associés aux activités anthropiques afin de les convertir en plusieurs impacts environnementaux. Elle est cadrée par la série de normes ISO 1404x : Management environnemental – Analyse de Cycle de Vie - ACV (ISO 14040 / ISO14044) et se présente comme un outil d'aide aux décisions stratégiques avec un moindre coût sur l'environnement.
Durabilité	On peut définir la durabilité comme étant une mesure de performance de la capacité de maintenir l'intégrité de l'environnement et viser l'efficacité économique, tout en visant à assurer l'équité sociale
Impact environnemental	L'impact environnemental désigne l'ensemble des changements qualitatifs, quantitatifs et fonctionnels de l'environnement engendrés par un projet, un processus, un procédé, un ou des organismes et un ou des produits, de sa conception à sa « fin de vie ».
Maison autonome	Une maison qui a la particularité de ne pas être branchée au réseau d'eau et d'électricité, mais qui produit elle-même sa propre énergie, en autarcie. Une maison 100% autonome produit également une partie ou l'entièreté des besoins en nourriture pour ses habitants, diminuant ainsi drastiquement le coût de vie.
Maison écologique	Une maison écologique est une maison qui tend à réduire son empreinte sur l'environnement. Ses éléments clés reposent sur l'efficacité énergétique et les matériaux durables qui sont utilisés lors de la construction.

INTRODUCTION

Le changement climatique et les enjeux associés, imputables aux activités anthropiques et aux émissions de gaz à effet de serre, se positionnent comme l'un des sujets les plus alarmants et débattus à l'échelle mondiale. Des répercussions significatives, perceptibles et mesurables depuis 1950, s'intensifient davantage avec le temps et impactent notre quotidien, notre santé, notre sécurité, mais également l'économie, les ressources naturelles ainsi que les écosystèmes à l'échelle mondiale (Gouvernement Canada, 2018). L'augmentation des températures, les phénomènes naturels mondiaux tels que l'élévation des eaux et la fonte des glaces, ainsi que les phénomènes climatiques extrêmes comme les feux de forêt, les inondations et cyclones, amènent et renforcent une prise de conscience individuelle et collective de la problématique actuelle (Fournier, C., 2018). De même, les prédictions alarmistes des scientifiques sur l'évolution du climat confirment la gravité de la situation et démontrent la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique et d'entreprendre des mesures collectives radicales face à l'urgence climatique actuelle via une coopération mondiale. Ces évaluations permettent une meilleure compréhension des changements climatiques et poussent à l'action collective (Gouvernement Canada, 2018 ; Maréchal, J., 2009). L'atténuation des changements climatiques se présente alors comme un enjeu mondial majeur (ONU, 2019).

Les bâtiments disposent d'une grande part de responsabilité au niveau des impacts environnementaux. Ils totaliseraient près de 13% des émissions canadiennes de gaz à effet de serre en 2018 et seraient responsables de 32% des consommations énergétiques mondiales (Gouvernement Canada, 2018). Outre une forte contribution au niveau des émissions de gaz à effet de serre et au niveau de la consommation énergétique, le secteur du bâtiment serait également contributeur sur les ressources et la santé humaine. Ce secteur se présente donc comme un enjeu clef de la lutte contre le réchauffement climatique où des mesures doivent être prises au niveau de la performance énergétique des bâtiments et du type de construction, afin d'amener à une transition vers des bâtiments à faibles émissions ou bâtiments durables.

Un changement de paradigme s'est amorcé au début des années 1990 avec l'orientation de ce secteur vers une optique plus écologique, notamment via l'essor de bâtiments écoénergétiques et le développement de certifications environnementales pour les bâtiments. Cependant, d'après le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), la transition énergétique ne suffirait pas à elle seule à limiter les émissions. Il faudrait également revoir les modes de vie afin de réduire drastiquement les besoins en énergie et limiter les consommations dispensables (IPCC, 2019).

Les structures autonomes se présenteraient alors comme une solution pertinente à la problématique environnementale relative à l'industrie du bâtiment et au réchauffement climatique. Ces dernières ciblent une autonomie globale au niveau des ressources, via des systèmes alternatifs, afin d'assurer un maximum de résilience ainsi qu'une empreinte carbone relativement faible. Elles s'alignent avec la nature afin de répondre aux besoins essentiels en eau, en électricité et en nourriture, tout en limitant les impacts écologiques.

Cependant, le Québec tire principalement son énergie de ressources renouvelables. En effet, l'énergie du réseau électrique québécois provient à plus de 99% d'énergie renouvelable dont 95% provenant de l'hydroélectricité, ce qui fait qu'il possède l'électricité la plus propre au monde et ce qui explique le coût énergétique relativement bas au Québec (Pineau et Whitmore, 2020 ; Hydro-Québec, 2020a). De plus, il dispose de 3% des réserves en eau douce renouvelable mondiale d'après le Ministère de l'Environnement et Lutte contre les Changements Climatiques (MELCC), d'où un accès quasi gratuit dépendamment des villes. Dans ce contexte, la pertinence de posséder une habitation autonome semble questionnable puisque les consommations d'énergie et d'eau présenteraient des impacts modérés et seraient plus avantageuses financièrement. De même, ces structures nécessiteraient des connaissances, des matériaux spécifiques ainsi que des installations supplémentaires.

L'objectif principal de cet essai est donc d'évaluer les impacts environnementaux d'une maison autonome au Québec, afin d'identifier si de potentiels avantages pourraient en découler par rapport aux maisons traditionnelles. Les objectifs spécifiques de cet essai sont les suivants :

- Étudier les consommations moyennes d'un ménage standard québécois afin de cerner les besoins et les attentes de ces derniers.
- Étudier des caractéristiques des habitations durables afin de comprendre en quoi ces structures participeraient significativement aux réductions des impacts globaux.
- Effectuer une analyse de cycle de vie simplifiée et comparative d'un point de vue environnemental selon la norme 14044 et une analyse de contribution des phases, afin de procéder à des comparaisons pertinentes et fiables entre les deux structures.
- Effectuer une analyse de durabilité entre les deux structures.
- Faire des recommandations pour améliorer les structures actuelles des maisons traditionnelles et autonomes dans le contexte québécois.

Pour répondre à ces objectifs, un examen du secteur du bâtiment, une analyse cycle de vie, une analyse de contribution des phases du cycle de vie et une analyse de durabilité via une grille d'analyse ont été menées. Les recherches concernant l'industrie de la construction se sont restreintes au Canada et au Québec. Les écrits scientifiques réalisés par des spécialistes en construction durable et par des chercheurs ont été favorisés, mais les documents produits par des instances gouvernementales ou organismes spécialisés ont aussi été intégrés. De même, les bases de données *Ecoinvent* du logiciel *Athena Impact Estimator for Buildings* et du logiciel *OpenLCA* ont été utilisés pour la modélisation des structures et des impacts. Enfin, des essais provenant de la banque de données de l'Université de Sherbrooke ont servi à l'intégration d'outils spécifiques ainsi qu'à l'identification de références complémentaires.

Le chapitre 1 de cet essai dresse un portrait du secteur du bâtiment et de la construction à l'échelle nationale et provinciale et énumère les consommations moyennes d'un ménage moyen québécois pour une meilleure compréhension des besoins, des attentes et de la situation actuelle des bâtiments résidentiels. Le chapitre 2 met en contexte les maisons autonomes et les enjeux associés à la mise en place de ces structures au Québec. Le chapitre 3 expose la méthodologie reliée aux outils utilisés et présente les résultats quantifiés obtenus lors de l'évaluation des impacts via *OpenLCA*. Le chapitre 4

analyse les résultats obtenus par l'évaluation des impacts et l'analyse de contribution, couplées à l'inventaire du cycle des systèmes étudiés. Le chapitre 5 présente les limites des outils utilisés et détermine la structure la plus durable via une analyse de durabilité. Enfin, le chapitre 6 suggère des recommandations pour rendre les habitations plus respectueuses de l'environnement et pour améliorer les habitations actuelles en fonction des ressources disponibles et du climat québécois.

1. L'INDUSTRIE DE LA CONSTRUCTION

L'industrie de la construction comprend deux secteurs. D'un côté le secteur des travaux de génie civil et de voirie comprend les barrages, les routes et autres structures analogues. D'un autre côté le secteur du bâtiment, à savoir les bâtiments résidentiels tels que les logements et les bâtiments non résidentiels comprenant les commerces, bâtiments industriels ainsi que les institutions (Ministère de l'Économie et de l'Innovation [MEI], sd). Cet essai traitera du secteur du bâtiment résidentiel.

1.1. Portrait du secteur de la construction au Canada et au Québec

L'industrie de la construction est un marché important et en constante augmentation. Elle a généré 1,45 millions d'emplois (7,2 % de la population active) au Canada en 2019, soit 7,2 % de la population active et 37 % des emplois produits par le secteur des biens. À l'échelle provinciale, elle a généré au Québec approximativement 256 800 emplois soit 5,6 % de la population active et 29 % des emplois produits par le secteur des biens (Institut de la Statistique du Québec, 2019b ; Statistique Canada, 2020).

Il s'agit d'un secteur d'activité qui contribue grandement à l'économie avec des dépenses d'immobilisation s'élevant à 141,2 milliards de dollars canadiens (\$CA) au Canada, soit 7,2 % du produit intérieur brut (PIB) national et il représenterait 11 % du PIB de la province avec une estimation de 53,2 milliards de dollars canadiens en valeur de dépenses d'immobilisation en construction (Commission de la Construction du Québec [CCQ], 2019 ; Institut de la Statistique du Québec, 2019b ; Statistique Canada, 2019a).

Tableau 1.1 Emplois, dépense d'immobilisation et part du PIB liés au secteur de la construction

	Emplois	Dépenses d'immobilisation (M\$CA)	Part PIB aux échelles respectives (%)
Canada	1 450 000	141, 2	7,2
Québec	256 800	53,2	11

Les dépenses d'immobilisation en construction sont des dépenses d'investissement en capital engagées pour acquérir, améliorer, construire et développer une immobilisation qui procureront des avantages (Office québécois de la langue française, 2012).

On se base sur les dépenses d'immobilisation pour connaître l'état du secteur de la construction et son évolution. Elles représentent les effets « directs » de la production du secteur de la construction et sont réparties en deux pôles. Ainsi, pour les dépenses d'immobilisation au Québec de 53,2 milliards \$CA :

- 27,1 milliards de dollars sont attribués aux travaux de génie et aux bâtiments non résidentiels, dont les institutions, les commerces et les industries (Commission de la Construction du Québec [CCQ], 2019).
- 26,1 milliards de dollars sont répartis en trois catégories, à savoir les nouvelles constructions, les rénovations et les entretiens et réparations (APCHQ, 2018a ; Commission de la Construction du Québec [CCQ], 2019).

1.2. Secteur de la construction, un écosystème d'affaire à retombées diverses

L'industrie de la construction est un secteur d'activité en plein essor depuis le début des années 2000, que ce soit au niveau fédéral ou provincial, et qui contribue de façon soutenue à la croissance économique (Deslauriers et Gagné, 2012).

Le secteur de la construction est donc un moteur important de l'économie canadienne, mais sert aussi de baromètre quant à la situation de l'économie nationale. Il peut donc être caractérisé comme un écosystème d'affaire à retombées diverses, dont le fonctionnement nécessite de nombreux intervenants. Il participe également à la création d'activités dans l'économie en bénéficiant des intrants de secteurs, d'industries et de groupes. Ainsi, il est important de considérer l'ensemble de ce secteur complexe afin d'estimer son rôle essentiel à la prospérité économique de la province et/ou du pays (Conseil du Patronat du Québec [CPQ], 2016).

Parmi les intervenants, on peut citer à titre d'exemple le secteur du commerce de gros (grossistes de matériaux et équipements de construction), le secteur de commerce de détail, le secteur de la fabrication (produits métalliques, produits non métalliques, quincaillerie, produits de bois, peintures, etc.), le secteur des services de transport et d'entreposage, les services financiers et immobiliers, les services d'architecture et d'ingénieurs et autres services relatifs aux logements (Commission de la Construction du Québec [CCQ], 2004). Outre les investissements alloués au secteur, les retombées économiques immédiates s'observent au niveau des emplois générés par son activité, soit environ 249 600 emplois directs générés par mois, soit un emploi sur 20 au Québec et 25 808 entreprises actives de construction. Les retombées s'observent également par les emplois créés dans les autres secteurs liés à celui-ci, que l'on qualifie d'emplois indirects (Commission de la Construction du Québec [CCQ], 2020). Les effets directs se rapportent aux secteurs ou industries spécifiques (ici la construction), alors que les effets indirects réfèrent aux activités qui soutiennent et/ou approvisionnent le secteur (Institut de la Statistique du Québec, 2018).

La construction a donc un impact direct et indirect sur l'économie et les emplois. Elle induit également des dépenses dans d'autres secteurs, via la consommation des bénéficiaires directs et indirects (dépenses de consommation des salariés, des fournisseurs, etc.) et via le type d'affectation du bâtiment construit (embauche de main d'œuvre en industrie, achats meubles des propriétaires, etc.). Une étude de Statistique Canada a montré que l'augmentation des capitaux physiques tels que les ouvrages de génie civil et les bâtiments contribuaient à réduire les coûts de production des industries. En effet, la construction de ponts et de routes permet que les transports de marchandises cheminent plus rapidement, permettant aux entreprises de produire à coût plus faible et donc d'être plus compétitives (Commission de la Construction du Québec [CCQ], 2004). Le secteur de la construction se présente donc comme un levier de croissance économique et un marché d'affaire à retombées diverses. Il est composé, en plus du secteur de construction, de l'ensemble des groupes, des secteurs et industries reliés à l'activité produite dans la construction (Conseil du Patronat du Québec [CPQ], 2016).

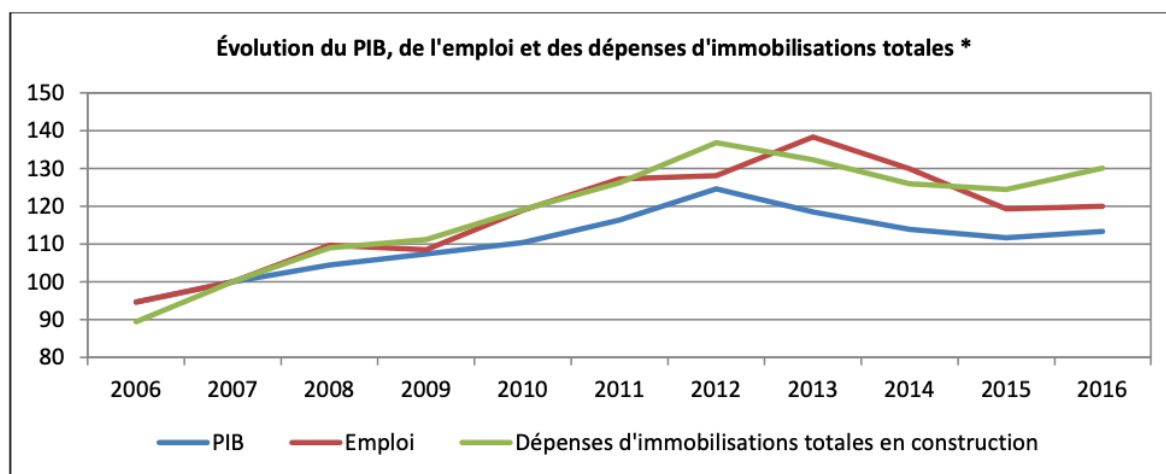
D'une façon globale, le secteur de la construction a connu une croissance soutenue cette dernière décennie et avant la pandémie de COVID-19. Cette croissance s'explique par une forte hausse des mises en chantier et des grands projets de transport collectifs, combinés aux projets reliés à l'hydroélectricité et aux infrastructures de ponts et routes. Elle s'explique également par la hausse de la migration, notamment vers la province, qui a contribué à l'augmentation des constructions résidentielles (Construforce Canada, 2019). Cette croissance a diminué récemment à cause de la pandémie de COVID-19. Une analyse publiée par les économistes de la Banque Nationale a révélé les estimations des répercussions de la pandémie et du krach du prix du pétrole sur le PIB national. La contraction du PIB de l'économie canadienne pour l'année 2020 a été estimée à 4,8 %, plus forte chute en 60 ans. Au Québec, le recul du PIB pourrait s'avérer plus important, soit une baisse de 5,2 %. Parmi les contractions des composantes du PIB national, une baisse significative a été anticipée dans le secteur de la construction résidentielle, avec un recul de 20,7 % (Vallières, 2020).

1.3. Le secteur résidentiel au Québec

Pour mieux comprendre la situation actuelle du secteur résidentiel, il est important d'analyser l'évolution de l'industrie du bâtiment au Québec. Les paragraphes suivants décrivent l'évolution du secteur résidentiel au Québec et celle du concept de la maison québécoise.

1.3.1. Évolution du secteur résidentiel au Québec

Le secteur résidentiel et son évolution dépendent principalement des ménages, de leur constitution, de leurs revenus, mais également de la croissance démographique, des taux d'intérêt du marché du logement et de la croissance de l'économie globale. Le graphique ci-dessous nous montre une corrélation entre l'évolution du PIB, des dépenses en construction et l'emploi (Gouvernement Canada, 2020a).



* Les données sont exprimées sous forme d'indices où l'année 2007 = 100

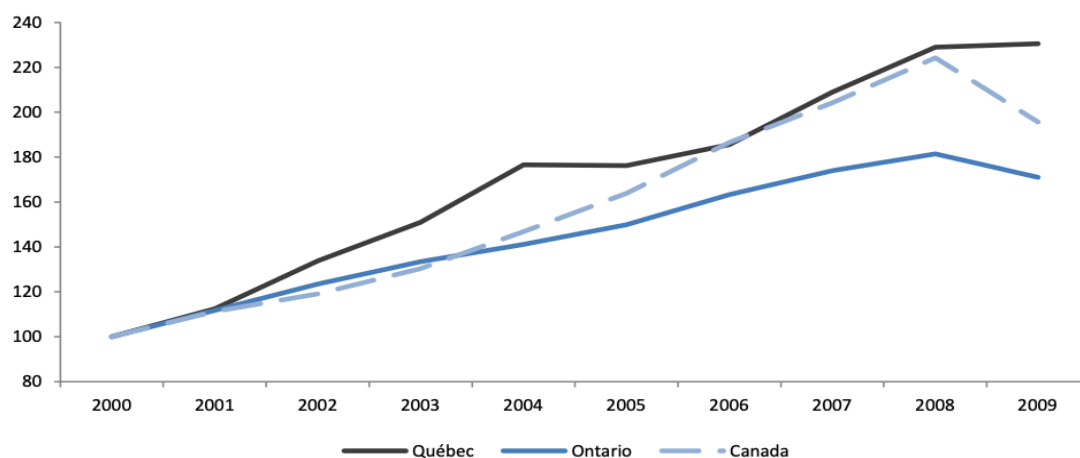
Sources : Statistique Canada, PIB – CANSIM 379-0030, Emploi – EPA, Dépenses d'immobilisations – CANSIM 026-0013 et 029-0045

Figure 1.1 Corrélation entre le PIB, l'emploi et les dépenses d'immobilisations totales (Tirée de : Gouvernement Canada, 2020a)

La comparaison de l'évolution des dépenses d'immobilisation en construction de la province avec l'Ontario et l'ensemble du Canada montre une progression plus rapide dans la province qu'ailleurs au

Canada. Elle montre aussi que le secteur a été moins sensible que les autres à la récession de 2008 (Deslauriers, J. et Gagné R., 2012).

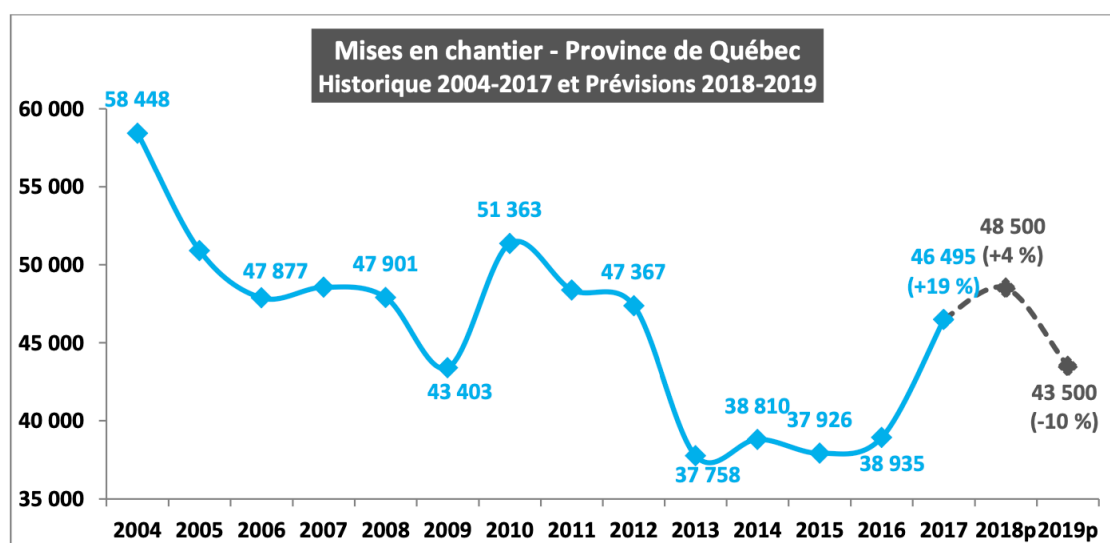
(2000 = 100)



Source : STATISTIQUE CANADA, Dépenses d'immobilisations en construction, selon le type d'actif, tableau 029-0040.

Figure 1.2 Évolution des dépenses d'immobilisations en construction au Québec, en Ontario et au Canada, 2000 - 2009 (Tirée de : Deslauriers, J. et Gagné R., 2012)

Ainsi, l'immobilier est un marché cyclique, où les hausses sont couramment suivies par des ralentissements (Gouvernement Canada, 2020a), ce que l'on peut observer par les mises en chantiers annuelles. Une mise en chantier est le nombre d'amorçages de chantiers dans le secteur résidentiel, à savoir les habitations sur le mois ou l'année étudiée. Ce sont des indicateurs du marché immobilier dont le nombre permet de prévoir l'évolution du marché dans les mois ultérieurs et de mesurer l'activité de construction résidentielle dans les différentes régions du Québec (CentralCharts, 2016 ; APCHQ, 2018b). L'APCHQ ou Association des Professionnels de la Construction et de l'Habitation du Québec (APCHQ) publie de façon mensuelle les mises en chantier au Québec dont les résultats montrent des fluctuations importantes, comme le montre la figure ci-dessous :



Source : Prévisions APCHQ et Mises en chantier : SCHL (Relevé des mises en chantier et des achèvements)

Figure 1.2 Évolution des mises en chantier au Québec de 2004 à 2017, avec des prévisions 2018-2019 (Tirée de : Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec, 2018))

Une discordance est relevée dans le secteur de la construction avant la récession canadienne de 2008-2009, avec une moyenne de 51 000 unités construites annuellement. Cette dynamique ne pouvait être supportée par les ménages compte tenu de l'accroissement du nombre de ces derniers. La récession canadienne a également eu un fort impact sur le secteur porté par la vigueur de l'économie actuelle, qui a amené à une diminution de 10 % des mises en chantiers (Gouvernement Canada, 2020a). Une accélération des mises en chantier de 2009 à 2012, dont la moyenne est descendue à 48 000 mises en chantier, nombre encore relativement élevé en comparaison de la faible croissance économique. La dynamique a eu un léger ralentissement en 2013 afin de pouvoir écouler les logements invendus. (Gouvernement Canada, 2020a) L'année 2017 fut le départ d'une lancée du secteur de la construction, portée par la migration interprovinciale et une immigration internationale accrue, ainsi que par la progression de l'emploi et de l'économie - augmentation du PIB réel de 3 % - qui ont soutenu le marché résidentiel (APCHQ, 2018).

1.3.2. Évolution du concept de la maison québécoise

La maison québécoise a fortement évolué depuis ses débuts. Il y a plus de trois siècles, les premières maisons construites au Québec étaient grandement inspirées des constructions retrouvées dans les pays d'origine des premiers arrivants et bâtisseurs, soit les premiers colons européens (White, 2005). Cela a donné lieu tout au long du XIX^e siècle à une architecture particulière qui se distingue par une petite surface et des avant-toits droits peu débordants (Upton, 2013). Plus tard, dans les années 50 et 60, l'évolution de la maison québécoise a été influencée par le développement économique des États-Unis, dont l'introduction massive du bungalow de banlieue importé de la Californie et peu adapté au climat québécois (Poirier, 2013).

Au fil du temps, la maison québécoise s'est progressivement transformée et a subi plusieurs modifications au niveau des matériaux et de la forme afin de s'adapter aux conditions climatiques du Québec (White, 2005). Afin de se protéger du froid hivernal, il a été nécessaire d'isoler les murs extérieurs, de surélever les maisons et de doubler, voire tripler, les portes et fenêtres. Les constructions deviennent alors plus légères, passant d'une structure massive en maçonnerie à une structure en ossature de bois à murs creux pour l'ajout d'isolants (Deffontaines, 1967 ; White, 2005).

A la suite de l'accroissement de la population, le besoin de s'adapter aux terrains de plus en plus étroits amène progressivement d'une distribution horizontale à une distribution verticale des espaces, passant ainsi à une maison de forme cubique, spacieuse, économique et simple à construire. Cela amène à une révolution de l'habitation au tournant du XX^e siècle (Upton, 2013). Ainsi, la cave se transforme en sous-sol, devenant ainsi une pièce importante pour la vie familiale. D'autres pièces se sont ajoutées, comme le garage, une bibliothèque, des chambres d'amis, ou un cinéma, améliorant le confort des ménages. Cela a fait en sorte que les maisons augmentent leur superficie, bien que le nombre constituant les ménages diminue. Au-delà du besoin de confort, l'augmentation en superficie s'explique également par une aisance économique des ménages et un affranchissement du climat par l'amélioration des systèmes de chauffage et d'isolation (White, 2005).

1.4. Portrait d'un ménage moyen québécois

Dans cette section, un portrait d'un ménage québécois moyen sera fait afin de bien cerner les besoins et attentes des habitants. Pour cela, une description d'un ménage moyen québécois est réalisée, suivie par un portrait des types d'habitations résidentielles privilégiées. Enfin, un portrait des consommations moyennes des ménages est dressé.

1.4.1. Ménage standard québécois

En 2018, le Québec dénombre près de 3,7 millions de ménages. Parmi ceux-ci, 24,0 % sont des ménages comptant un couple avec enfants et 29,0 % sont des ménages comptant un couple sans enfant et 34,0% de ménages d'une personne (Statistique Canada, 2020). En Estrie, la part de ménages avec enfant est de 35,5 %, derrière les ménages sans enfant (49,5%) (Statistique Canada, 2019).

On assiste à une réduction de la taille des ménages au Canada au cours du dernier siècle et d'une hausse du nombre de ménages (Statistique Canada 2018). En effet, d'après l'Institut de la statistique du Québec, le nombre moyen de personnes par famille est passé de 3,2 en 1976, à 2,83 en 2016. Cela s'explique d'une part par un vieillissement démographique, avec des enfants ayant quittés le domicile familial pour la majorité des couples (Statistique Canada, 2019).

Le nombre moyen d'enfants par famille étant de 1,75 en 2016, le type de ménage considéré pour cet essai sera composé d'un couple avec 2 enfants (Statistique Canada, 2019).

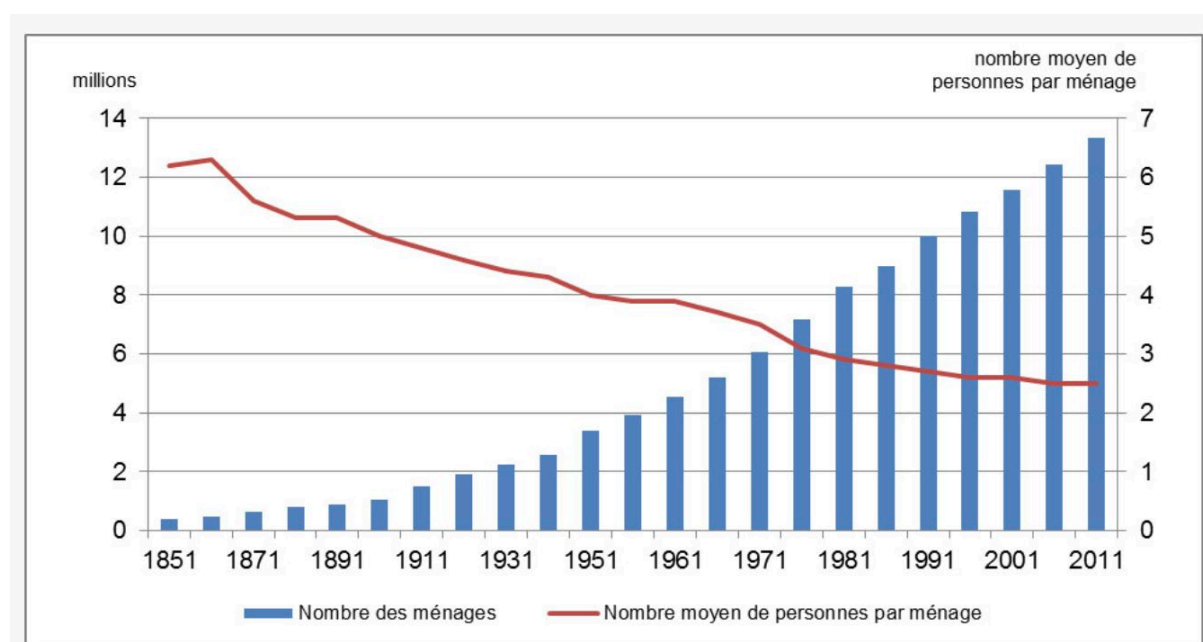


Figure 1.3 Nombre moyen de personnes par ménage et nombre de ménages au Canada, de 1851 à 2011
(Tirée de Statistique Canada, 2015)

1.4.2. Type d'habitation privilégié

L'habitation unifamiliale non attenante est devenue un objet de consommation pour la majorité des ménages québécois et prend une bonne part du marché malgré une légère diminution ces dernières années. Elle reste le type de propriété le plus populaire et le plus courant au Québec (White, 2005). Une maison unifamiliale se définit comme une habitation indépendante abritant un seul logement avec un terrain à usage exclusif (Soumissions Courtiers, sd).

Le nombre de maisons unifamiliales occupé en 2016 représentait environ la moitié des habitations québécoises, soit 45,4% des 3 531 660 logements privés occupés (Statistique Canada, 2019). Cependant, comme décrit dans la section 1.3.1, une légère diminution de ce type d'habitation est perceptible depuis 2011 face à l'augmentation du nombre de logements multiples, ces derniers sont le type d'habitation privilégié depuis 2016 (Statistique Canada, 2019).

Cette émergence d'immeubles de logements en copropriété et des immeubles d'appartement reflètent non seulement un choix concernant le mode de vie, mais aussi les changements économiques, sociétaux et démographiques comme la hausse de l'émigration, l'évolution des caractéristiques et la taille des ménages, les prix dispendieux des maisons unifamiliales, la pénurie des surfaces disponibles ainsi que les politiques sur les développements des habitations des grandes villes (Statistique Canada, 2015).

Leur popularité au Québec s'explique aussi par leur accessibilité et leur localisation. De ce fait, ce type de logement est intéressant pour de jeunes acheteurs ou des retraités qui n'ont plus besoin d'autant d'espace. Le nombre de personnes âgées étant en constante augmentation, cela peut expliquer l'accroissement des condos ces dernières années dans le marché québécois. L'augmentation du prix médian peut également expliquer la préférence pour ce dernier type de logement. Enfin, les ménages avec enfants, moins nombreux, privilégieraient les maisons unifamiliales alors que les ménages sans enfant - majoritairement des ménages dont les enfants ont quitté le foyer familial - seraient plus séduits par des logements plus petits en condos (Soumissions Courtiers, sd).

1.4.3. Consommation des ménages

Au Québec en 2017, les dépenses totales moyennes des ménages ont été estimées en moyenne à 73 357 \$CA par ménage dont 73,5% sont affectés à la consommation courante, 18,3% aux impôts sur le revenu, 6,7% aux paiements d'assurances individuelles et cotisations de retraite et 1,4% aux cadeaux en argent, aux pensions alimentaires et dons de bienfaisance. Le logement se place comme premier poste des dépenses courantes des ménages, avoisinant 19,8% des dépenses totales en 2017 (soit 14 533 \$CA), suivi du transport (13,9%) et de l'alimentation (10,6%). On observe différents profils de consommation selon les revenus et le mode de vie (Statistique Canada, 2019).

Consommation de l'électricité

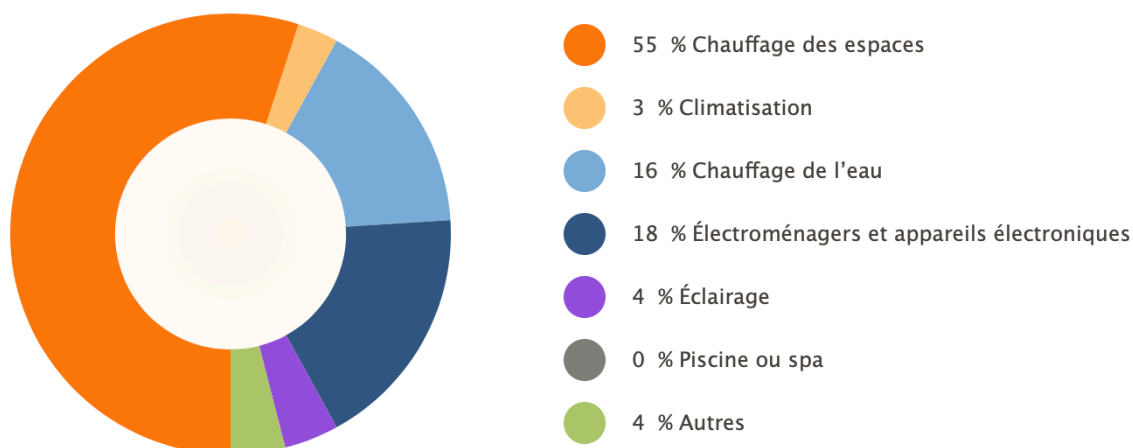


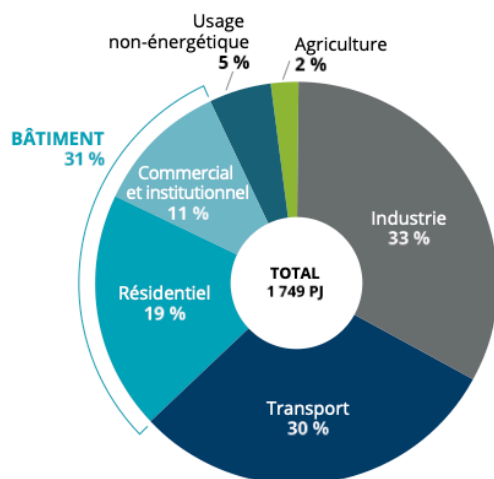
Figure 1.4 Répartition de la consommation moyenne d'électricité par usage d'une habitation individuelle avec système de climatisation (Tirée de Hydro-Québec, 2020b)

La consommation moyenne d'électricité par année s'élèverait à 24 000 kWh d'après HydroQuébec (HydroQuébec, 2020b). Cette consommation moyenne d'électricité dépend de plusieurs facteurs tels que le type d'habitation et l'utilisation de l'électricité. (Voir la Figure 5 ci-dessus)

1.4.4. Utilisation de l'énergie au Québec

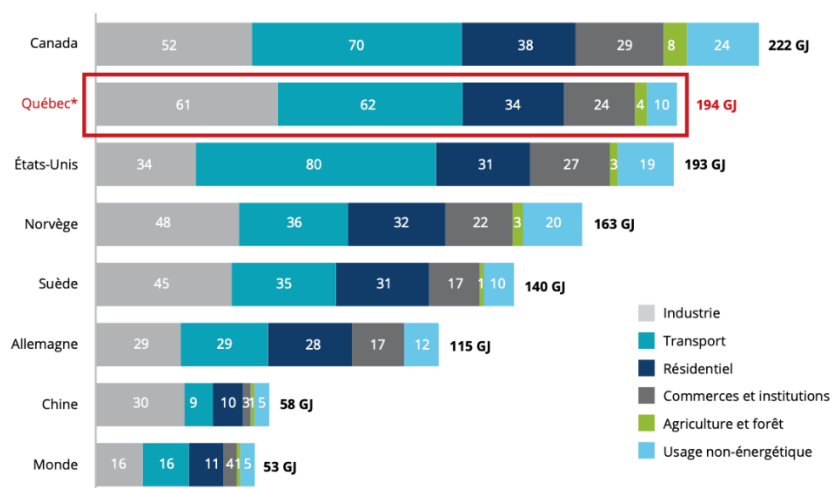
D'après l'État de l'énergie au Québec, édition 2020, un tiers de l'énergie au Québec serait directement consommée par les ménages québécois (Pineau et Whitmore, 2020). La comparaison de la consommation énergétique par habitant du Québec par rapport aux autres pays montre les Québécois sont un des plus gros consommateurs d'énergie au monde, avec une consommation totale d'énergie de 1 749 pétajoules (PJ) en 2017, tous secteurs confondus, soit 194 GJ par habitant (voir Figure 7). Plus de la moitié (56 %) de cette énergie proviendrait des hydrocarbures et 44 % seraient d'origine renouvelable (Pineau et Whitmore, 2020).

Le secteur résidentiel consommerait 19 % de l'énergie totale, soit 332,31 PJ (Pineau et Whitmore, 2020), ce que montre la Figure 6 ci-dessous. Le Québec se place ainsi au neuvième rang pour la consommation par habitant et troisième pour la demande totale d'énergie (Régie de l'énergie au Canada, 2020).



Sources : Statistique Canada, 2019 (tableau 25-10-0029-01); TEQ, 2018.

Figure 1.5 Consommation totale par secteur d'activité au Québec en 2017 (Tirée de Pineau et Whitmore, 2020)



Sources : AIE, 2019; sauf * pour le Québec, Statistique Canada, 2019 (tableau 25-10-0029-01).

Note : Le graphique illustre la consommation énergétique de certains pays du monde. Seuls quatre petits pays ont une consommation par habitant supérieure à celle du Canada : Trinité-et-Tobago, le Qatar, l'Islande et le Luxembourg.

Figure 1.6 Comparaison de la consommation énergétique par habitant du Québec en 2017 (Tirée Pineau et Whitmore, 2020)

1.4.5. Consommation de chauffage et d'électricité

Au Québec, en raison des hivers froids et longs, le chauffage constitue l'usage le plus conséquent de l'électricité (72 %) et qui revient plus cher sur la facture annuelle d'électricité (Pineau et Whitmore, 2020). Cependant, une habitation chauffée à l'électricité comprend d'autres usages tels que l'eau, l'éclairage et appareils électriques à prendre également en compte. En 2017, avec une consommation d'électricité par habitant à 21 MWh, le Québec se place au premier rang concernant la consommation d'électricité par habitant au Canada, soit 44% au-dessus de la moyenne nationale (Régie de l'énergie au Canada, 2020).

1.4.6. Consommation de l'eau

Le Canada est un pays riche en eau douce, dont les cours d'eau déversent en moyenne près de 9% des ressources en eau renouvelable de la planète pour 1% de la population (Gouvernement Canada, 2017). Figurant parmi les plus gros consommateurs en eau, le Québec a pour objectif d'ici 2025 de réduire de 20% la quantité d'eau potable distribuée par personne, soit atteindre 458 litres par personne. Pour cela, le gouvernement québécois a lancé une "*Stratégie d'économie d'eau potable 2019-2025*" (Fabriès, 2019). La quantité d'eau distribuée au Québec demeure à ce jour 28% plus élevée que la moyenne canadienne, avec 573 litres d'eau par personne par jour d'après la ministre des Affaires municipales Andrée Laforest (Corriveau, 2019). En effet la consommation annuelle d'un ménage moyen québécois s'élèverait à 24 000 kWh et 619,464 litres d'eau par an, soit 424 litres d'eau par personne (La Presse, 2019 ; HydroQuébec, sd).

1.4.7. Dépenses de transport des consommateurs

Selon la Régie de l'énergie du Canada, le Québec constituerait le deuxième marché pour les produits pétroliers raffinés au Canada après l'Ontario. La demande s'est élevée à 381 kb/j dont 180 kb/j provenant de l'essence automobile et 85 kb/j du diesel en 2018. Cette demande représenterait 20% de la demande nationale canadienne (Régie de l'énergie du Canada, 2020). La dépense reliée aux transports représentait 18,4 % des dépenses des ménages. Les Québécois consomment de plus en plus de produits pétroliers avec l'acquisition de plus en plus de camions légers (VUS) selon le rapport de l'État de l'énergie au Québec 2020. En 2015, la consommation d'énergie concernant le transport au Canada serait de 7 631 kg de pétrole par habitant (Pineau et Whitmore, 2020 ; Université de Sherbrooke, sd).

2. CONTEXTE DU BÂTIMENT DURABLE

L'industrie du bâtiment de la construction est actuellement en plein essor. Cela fait suite à une prise de conscience progressive des enjeux environnementaux, notamment ceux associés à l'industrie du bâtiment. Dans cette section, les impacts environnementaux reliés aux bâtiments seront présentés, suivis des points majeurs à prendre en considération. Les certifications environnementales seront abordées, suivies d'un portrait des bâtiments durables au Québec avec une étude de cas des structures autonomes présentes au Québec et leur performance. Enfin, la dernière sous-section traitera des enjeux reliés aux maisons autonomes dans les climats froids.

2.1. Impacts environnementaux des bâtiments

L'industrie du bâtiment entraîne de nombreuses répercussions environnementales tout au long de son cycle de vie, et ce depuis le choix de l'emplacement, la construction, l'exploitation, la rénovation et la démolition des bâtiments. D'après Équiterre et son étude sur l'impact des matériaux, 3 milliards de tonnes de matières premières seraient utilisées pour la production des composantes de bâtiments, soit une consommation de 50% des ressources naturelles extraites (Equiterre, 2017 ; Zabalza Bribián et al, 2011). Le secteur du bâtiment et de la construction représenterait 36 % de la consommation d'énergie finale mondiale, 39 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à l'énergie en 2018, mais également 10% émissions des particules en suspension et 25% des déchets. Ces taux affichent actuellement une augmentation de par un ralentissement des investissements dans l'efficacité énergétique, et des progrès encore insuffisants au niveau des politiques actuelles et nouvelles (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019 ; Lessard, 2017).

La part du secteur résidentiel représenterait 22% de la consommation finale d'énergie et 17 % des émissions de GES reliés à l'énergie, comme le montre la Figure 8 ci-dessous (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019).

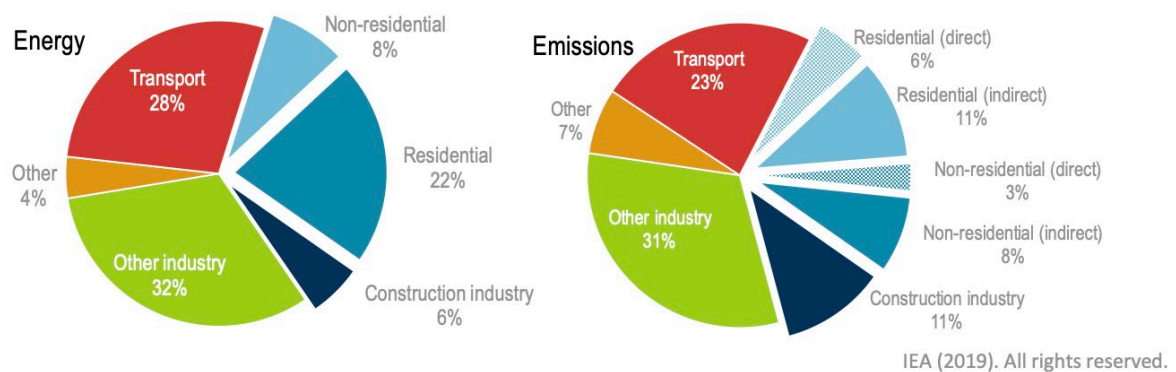


Figure 2.1 Répartition globale de la consommation énergétique finale et émissions du secteur de la construction et des bâtiments en 2018 (Tirée de Global Alliance for Buildings and Construction, 2019)

2.2. Les points critiques des impacts des bâtiments

Plusieurs effets environnementaux découlent directement de la construction, de l'exploitation, de la rénovation et de la démolition des habitations résidentielles comme le montre la Figure 9 ci-dessous.

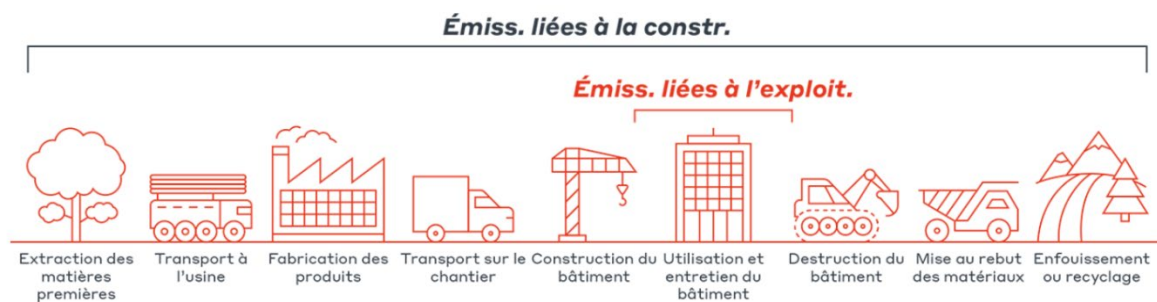


Figure 2.2 Les répercussions de l'exploitation et de la construction d'un bâtiment le long de son cycle de vie. (Tirée de WSP, 2019)

Dans cette section, une description de la contribution énergétique des bâtiments sera présentée, de même que celle de la gestion des matières résiduelles issues des chantiers et des choix des matériaux.

2.2.1. La contribution énergétique des bâtiments

Les bâtiments ont plusieurs types d'impacts environnementaux conséquents au cours de leur cycle de vie. La phase d'exploitation des bâtiments serait la plus impactante du cycle de vie, notamment pour la consommation énergétique qui comptabiliserait 60% à 90% des impacts globaux (Asdrubali et al., 2013 ; Audenaert, Braet et Buyle, 2013 ; Ortiz et al., 2009). Cette contribution notable s'expliquerait plus par la provenance de cette énergie, qui, selon l'Agence internationale de l'énergie, provient à plus de 80% de sources fossiles (pétrole, gaz et charbon) dans la majorité des pays, que par la quantité consommée (EIA, 2019 ; Mosteiro-Romero et al, 2014). Le contexte géographique peut donc influencer les impacts environnementaux du secteur du bâtiment.

En comparaison, l'énergie du réseau électrique québécois provient à plus de 99% d'énergie renouvelable dont 95% provenant de l'hydroélectricité, 4,7% provenant des éoliennes et 1% de la biomasse, sans compter l'énergie produite par les panneaux solaires. La production d'énergie au Québec émet très peu d'émissions de gaz à effet de serre et n'entraîne très peu de rejet toxique comparé aux énergies fossiles, réduisant les impacts environnementaux de l'énergie consommée (Pineau et Whitmore, 2020). Le contexte énergétique influence également les impacts environnementaux du secteur du bâtiment.

Concernant les bâtiments résidentiels à l'échelle mondiale, la consommation finale d'énergie des bâtiments résidentiels s'élèverait à plus de 70% de la consommation totale en 2018. Cette croissance résulterait particulièrement de l'agrandissement de la surface de plancher et de la population ainsi que l'utilisation. D'autres facteurs entrent en considération, tels que l'augmentation des services énergétiques comme les équipements de refroidissement et les appareils électroménagers, les variations climatiques (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019).

En effet, en huit ans, la demande de rafraîchissement des locaux a augmenté de plus de 35 %, dont 5% entre 2017 et 2018, alors que la consommation liée aux appareils électriques a augmenté de 18 % (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019). Cette tendance risque de persister au vu de l'élévation des températures moyennes. Des études françaises sur l'évolution du climat prévoient une augmentation de 7 degrés d'ici la fin du siècle d'après des scientifiques français. La hausse moyenne

des températures serait encore plus importante au Québec et au Canada, elle serait deux fois plus élevée que la moyenne mondiale d'après les prédictions (Champagne, 2019 ; Radio-Canada, 2019).

2.2.2. Les matières résiduelles liées au secteur de la construction

Un autre impact que l'on peut mettre en évidence est l'entretien et, éventuellement, la gestion des rebuts des matériaux. En effet, de grandes quantités de matières résiduelles reliées au secteur du bâtiment sont produites. Les résidus de construction, de rénovation et de démolition (CRD) représentent 30% des matières résiduelles au Québec, soit 2,5 millions de tonnes par année de résidus dans les écocentres, avec un taux de récupération de 70% au niveau des centres de tri, dont 48% seraient par la suite valorisés. De cette fraction, 58% seraient envoyés au recyclage, le reste étant valorisé énergétiquement. Les débouchés potentiels sont pourtant nombreux, comme le montre la Figure 10 ci-dessous (Recyc-Québec, 2018 ; Amor, 2020).

MATIÈRE	MARCHÉ	PRODUIT(S)	DÉBOUCHÉ(S)
Bois	Recyclage	Bois broyé	Fabricants de panneaux (de particules ou insonorisants)
	Valorisation énergétique	Bois broyé	Serres, industries papetières, cimenteries
Gypse	Recyclage	Poudre de gypse Carton	Fabricants de panneaux, cimenteries, industries agricoles
Bardeaux d'asphalte	Recyclage	Bardeau déchiqueté Pierre bitumineuse	Fabricants d'asphalte
	Valorisation énergétique	Carton bitumineux	Cimenteries
Agrégats	Recyclage	Matériel granulaire	Fabricants d'asphalte, fabricants de béton
Métaux	Recyclage	Métaux mélangés	Ferrailleurs, déchiqueteurs, fonderies
Carton	Recyclage	Carton ondulé	Industries papetières
Plastiques	Recyclage	Plastiques mélangés	Conditionneurs et recycleurs
	Valorisation énergétique	Plastiques mélangés (sans PVC)	Conditionneurs et cimenteries

Figure 2.3 Marchés et débouchés potentiels des matières issues des résidus de CRD (Tirée de Recyc-Québec, 2018b)

Le faible pourcentage de valorisation matière (recyclage) s'explique par un taux de contamination de plus en plus élevé en fonction des types de chantiers : construction, rénovation et démolition. La qualité des matières résiduelles diminuant lorsque l'on avance dans les étapes constituant le cycle de vie d'un bâtiment comme le montre la Figure 11 ci-dessous.

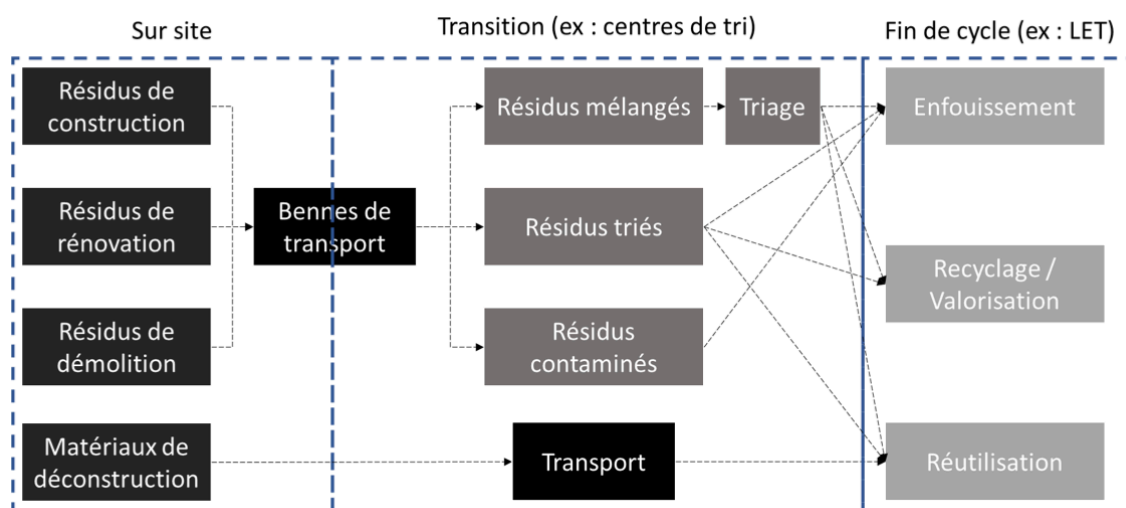


Figure 2.4 Gestion des résidus. (Tirée de Amor B., 2020)

De plus, l'absence de tri à la source influe sur la qualité du tri, ce qui amène la plupart des mélanges hétérogènes de matières résiduelles à l'enfouissement. Seulement 20% des CRD seraient triés à la sortie des écocentres en 2015, comme le montre la Figure 12 ci-dessous (Recyc-Québec, 2018b).

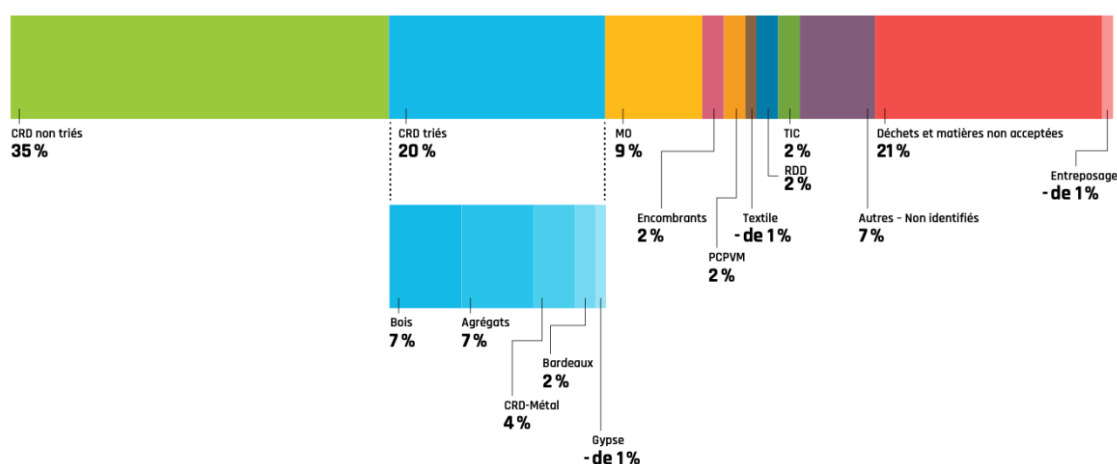


Figure 7 Composition et répartition des matières résiduelles CRD sortant des écocentres au Québec (Tirée de Recyc-Québec, 2018b)

Le Ministère du Développement Durable (MDDEP) a adopté un nouveau plan d'action dans sa *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles : le Plan d'action 2019-2024*, dont un des objectifs visés pour 2023 serait de recycler et valoriser 70% des résidus de construction, rénovation et démolition via le développement de nouveaux marchés et diversifier les débouchés en encourageant au maximum l'innovation et l'économie circulaire. Une modernisation des centres de tri sera assurée afin d'atteindre une meilleure uniformisation des pratiques et limiter les taux de rejets moyens de CRD à 30% en 2023 (Recyc-Québec, 2019).

2.2.3. La sélection des matériaux

Lorsque la consommation énergétique des bâtiments provient d'énergies renouvelables, comme le cas du Québec, les impacts reliés à l'énergie utilisée tout au long du cycle de vie sont relativement faibles.

La contribution des matériaux utilisés prédomine alors sur les impacts environnementaux. Cette plus forte contribution s'applique aussi pour les maisons à faible consommation énergétique où la réduction de la consommation d'énergie amène à une augmentation des quantités de matériaux utilisés, dont les spécificités peuvent demander plus d'énergie et émettre davantage que les matériaux traditionnels (Lessard, 2017 ; Ruschi Mendes Saade, 2019).

2.3. Systèmes de certifications du secteur du bâtiment au Québec

Devant cette prise de conscience globale et l'intérêt grandissant pour réduire les impacts environnementaux, plusieurs outils et certifications visant le secteur du bâtiment sont mis en place afin de favoriser l'adoption de mesures visant à atténuer les impacts environnementaux d'un bâtiment. On peut citer les systèmes d'évaluation pour les bâtiments écologiques ou *Green Building Rating Systems*, disponibles et réputés mondialement (Derghazaria, 2011).

Afin de convaincre les consommateurs sur les qualités environnementales de leurs produits et services, de plus en plus d'entreprises adoptent une démarche de certification comme procédure volontaire, ce qui permet d'assurer une image plus valorisante auprès des consommateurs (Dekhili et al, 2011 ; Derghazaria, 2011). Ces certifications conviennent également au niveau des particuliers pour des maisons écologiques.

On remarque une augmentation des certifications et leur développement au fur et à mesure que l'on avance dans le temps et au fur et à mesure que les enjeux par rapport aux changements climatiques augmentent comme le montre la Figure 13 ci-dessous.

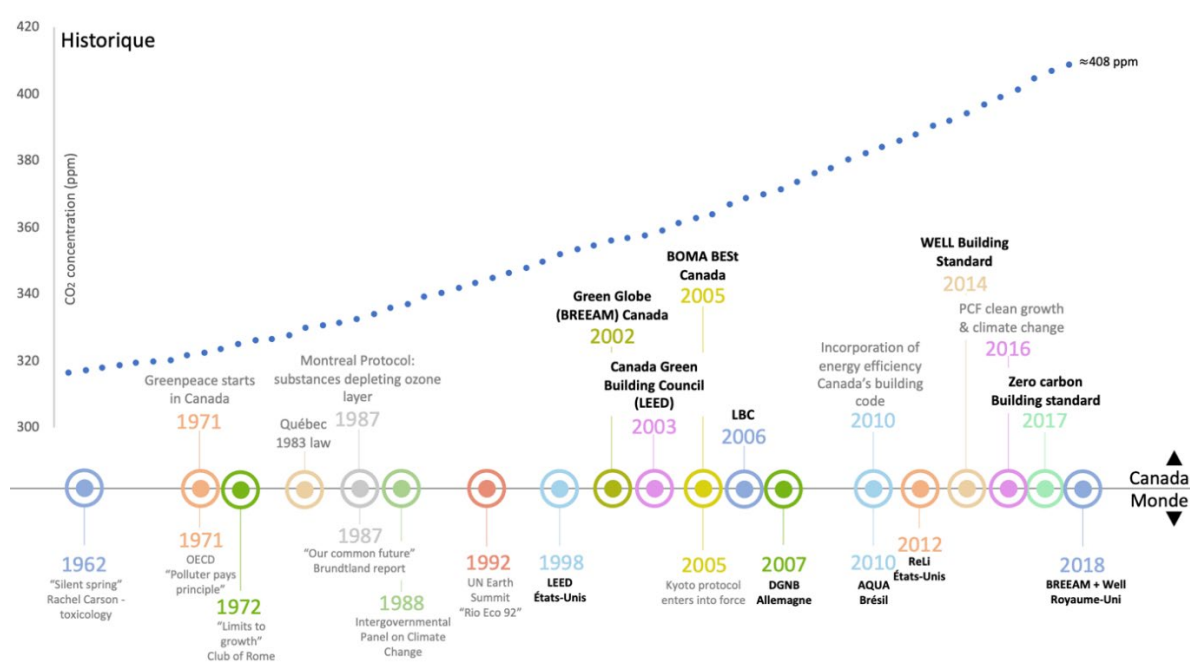


Figure 2.6 Évolution des certifications environnementales en fonction du temps dans le monde et au Canada. (Tirée de Amor, 2020)

Les certifications varient en fonction de l'emplacement géographique. On peut nommer *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) des États-Unis, *Passive House* de l'Allemagne, Haute Qualité Environnementale (HQE de France, Living Building Challenge (LBC) des États-Unis, *Building*

Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM) du Royaume-Uni, Green Star de l'Australie, Well Building Standard des États-Unis.

Les principales certifications discutées sur le marché en Amérique du Nord sont les certifications LEED, LBC, WELL et Zero Carbon, elles sont explicitées ci-dessous :

La certification *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED v4)

La certification LEED est l'une des GBRS les plus connues à l'échelle mondiale et est centrée sur la performance énergétique et environnementale ainsi que la durabilité du bâtiment. Elle fut développée par le US Green Building Council (USGBC) en 1998 et encourage une approche holistique sur la durabilité des bâtiments et son rendement dans six secteurs clés de l'environnement et la santé humaine où des points sont accordés : l'aménagement écologique des sites, la gestion efficace de l'eau, l'énergie et l'atmosphère, les matériaux et ressources et la qualité des environnements intérieurs (Conseil du bâtiment durable du Canada, 2020d).

Plusieurs systèmes d'évaluation existent pour répondre aux besoins de tout type de bâtiments et projets, et chacune d'elles comporte des crédits et des conditions préalables. LEED accorde quatre niveaux de certification (certifié, argent, or et platine) pour une meilleure adaptation aux contraintes et cibles des projets de particulier, mais aussi à une grande variété de stratégies du bâtiment durable (Conseil du bâtiment durable du Canada, 2020d).

Au Canada, le système d'évaluation des bâtiments durables LEED a été lancé en 2002. Ce premier système a été rapidement adopté par le marché : il y a actuellement 4350 projets certifiés LEED, ce qui positionne le Canada au deuxième rang mondial (Amor, 2020).

La Certification Living Building Challenge (LBC)

L'*International Living Future Institute* a mis au point la certification LBC, lancée en 2006. Elle se présente comme la norme de performance environnementale la plus rigoureuse et visionnaire du secteur du bâtiment et de la construction et devient de plus en plus populaire. Elle vise un changement de paradigme lié à l'environnement bâti et cible la mise en place d'une symbiose entre les bâtiments et l'environnement (International Living Future Institute, 2019 ; Zizi, 2014). Contrairement à LEED qui veut minimiser les impacts, LBC veut générer des bâtiments intégrés, vivants à impacts positifs sur l'ensemble des aspects, tout en s'intégrant harmonieusement et efficacement avec son milieu (Desrosiers et Tosser, 2014 ; Zizi, 2014). Elle considère l'emplacement du projet et s'ajuste en fonction de ce dernier, elle considère aussi les "pétales" suivantes : le site, l'eau, l'énergie, la santé et bonheur, les matériaux, l'équité et la beauté et s'applique à 4 typologies : nouvelle construction, rénovation, intérieur et paysagement et infrastructure (Collaboratif Montréal, 2014 ; International Living Future Institute, 2019). Cette certification met également en place un effet d'échelle admis qui permet de valider un aspect en communauté via un partage de ressource qui serait trop important pour une seule personne (Amor, 2020 ; Zizi, 2014).

C'est une certification assez difficile à obtenir, car très contraignante pour réussir, les projets doivent se conformer à des exigences ambitieuses. Cela inclut l'objectif Net Zéro en matière d'énergie et d'eau. On dénombre actuellement 100 projets certifiés dans le monde (Amor, 2020).

La Certification WELL Building Standard

La certification WELL est la première certification qui définit des lignes directrices pour l'intégration du bien-être et la santé de ses occupants au cœur de sa démarche. Développée en 2004 par *International Well Building Institute*, sa mission consiste à permettre aux habitants à se développer à travers de meilleurs bâtiments. C'est le référentiel mondial consacré à la part du bâtiment sur le bien-être des usagers, dont le développement est basé sur l'intégration de la recherche et littérature scientifique et médicale (International Well Building Institute, sd ; VoirVert.ca, 2016).

Cette certification s'applique à 3 catégories : les bâtiments multi-résidentiels de plus de 6 unités, neufs et existants, les intérieurs neufs ou existants et l'enveloppe ou noyau. Elle se base sur 10 thématiques, soit l'air, l'alimentation, l'eau, la lumière, le confort acoustique et thermique, les matériaux, l'esprit, la communauté et l'activité physique, ainsi qu'une catégorie complémentaire : l'innovation (Bolducet Duchaine, 2020 ; VoirVert.ca, 2016). Contrairement à la certification LEED, la certification WELL est valide pour une durée limitée de 3ans. Le processus de certification permet d'assurer le respect des engagements du bâtiment à long terme (Bolduc, et Duchaine, 2020 ; International Well Building Institute, sd). On dénombre 2 bâtiments certifiés WELL au Canada, à Vancouver et Toronto.

Zero Carbon Building Standard (BCZ)

Le Conseil du Bâtiment Durable du Canada a lancé en 2017 la norme Carbone Zéro (BCZ) pour les bâtiments institutionnels, commerciaux et résidentiels de grande hauteur. Elle a été lancée en appui des efforts du Canada dans la réduction de 30% des GES du pays d'ici 2030 et se présente comme la "nouvelle mesure de l'innovation en matière de bâtiment durable" (Conseil du bâtiment durable du Canada, 2020a). Cette norme cible l'atteinte du carbone zéro pour les structures neuves et existantes et étudie le bilan carbone des bâtiments dans leur cycle de vie, notamment l'exploitation et la construction. La version 2 est disponible, où des exigences particulières sont considérées au niveau de la performance et du design (Conseil du bâtiment durable du Canada, 2020a).

Au Québec, les habitations durables certifiées sont de plus en plus considérées par la population. En plus de présenter un impact positif d'un point de vue environnemental, les certifications augmentent également la valeur sur le marché de l'immobilier (Desrosiers et Tosser, 2014 ; Ecohabitation, 2012d).

2.4. Les maisons autonomes et leurs enjeux dans les climats froids

L'intérêt pour la construction et l'achat de maisons écologique à haute performance environnementale et moindre impact écologique ne cesse d'augmenter à l'échelle mondiale, ce qui montre un intérêt graduel de la population pour l'environnement et la réduction de ses impacts environnementaux. Dans cette section, une définition des maisons autonomes sera faite et ses caractéristiques décrites, suivies d'une rapide étude de cas des maisons autonomes présentes au Québec. Enfin, les enjeux de ces dernières seront présentés en prenant en compte le contexte québécois.

2.4.1. Définition et caractéristiques des maisons autonomes

On appelle maison autonome, une maison qui a la particularité de ne pas être branchée au réseau d'eau et d'électricité, mais qui produit elle-même sa propre énergie, en autarcie. Une maison 100% autonome produit également une partie ou l'entièreté des besoins en nourriture pour ses habitants, diminuant ainsi drastiquement le coût de vie. La valeur fondamentale de cette structure est la liberté des systèmes externes, ce qui permet, lorsque survient une forme d'adversité tels un évènement météorologique puissant ou une panne d'électricité, de pouvoir répondre à ses besoins de base tels que l'eau ou chaleur (SolutionEra, 2020b).

Les maisons autonomes sont réchauffées en grande partie via le principe de masse thermique, différents matériaux lourds comme la pierre, la brique ou la terre crue agissant comme accumulateurs de chaleur l'hiver et de fraîcheur l'été lorsqu'ils sont répartis à l'intérieur de l'enveloppe isolante d'une construction. En été, la surchauffe est évitée via des pare-soleils bloquant les rayons, ainsi, les habitations gardent leur fraîcheur (ARCHIBIO, 2005 : Es-Cargo, juillet 2019 ; Sillaro, 2017) Il est important de souligner qu'une habitation peut être résiliente sans être pour autant être à 100% autonome, le degré d'autonomie dépend des besoins et des moyens des propriétaires, ainsi que le niveau de confort, ses connaissances techniques, sa dextérité et ses compétences dans le domaine du bricolage (Belvedair, sd ; Ecohabitation, 2013 ; Hartmann, 2018).

Pour qu'une maison soit autonome avec une vision écologique, cela implique nécessairement un changement dans les habitudes de vie, passant d'un régime de consommation à un mode de vie plus minimaliste (SolutionEra, 2020b). En effet, une maison peut être autonome des circuits externes tout en utilisant des génératrices au mazout afin de fournir l'énergie nécessaire pour subvenir aux besoins des habitants. Ce cas est observable au niveau des régions non raccordées au nord du Québec qui, par leur éloignement et la rigueur du climat, ne sont pas desservies par Hydro-Québec, distributeur d'électricité au Québec. Dans ce cas-ci il n'y a pas de durabilité environnementale, car ce type d'autonomie utilise des ressources fossiles et n'a donc pas de valeur environnementale (ObjectifNord, sd). Ainsi, lorsque l'on fait le choix d'une autonomie globale, on vise à ce tous les besoins essentiels tels que l'air, l'eau, l'électricité et la chaleur, ne dépendent pas de l'extérieur, tout en minimisant au maximum ses impacts sur l'environnement (SolutionEra, 2020b).

Enfin, pour qu'une maison soit considérée comme "écologiques", tous les phases et aspects doivent être considérés, de la conception jusqu'à son démantèlement et son élimination/valorisation. On parle alors d'une conception responsable, notamment au niveau de l'emplacement, de l'orientation et du choix des matériaux. On parle également de gestion responsable des chantiers, notamment des déchets produits lors de la construction, l'entretien et le démantèlement, de la préservation des ressources, de la réduction des impacts et de l'empreinte carbone, de la préservation de la qualité de vie et la santé des habitants, de l'efficacité énergétique et de la gestion efficace de l'eau, de l'électricité et de la nourriture (Soumissionrenovation.ca, 2019a).

Ainsi, les trois piliers d'une maison autonome sont les suivants : choix et type de matériaux, qui doivent être naturels et locaux ; design bioclimatique ou comment faire pour s'aligner avec les phénomènes

naturels pour créer une maison qui va produire eau, chaleur, nourriture, électricité, en interagissant avec ces phénomènes naturels ; résilience en eau, en électricité et en nourriture.

2.4.2. Les maisons autonomes au Québec

Au Québec, l'électricité publique revient nettement moins chère que celle produite sur de petites installations telles que les maisons autonomes, ce qui explique le peu de construction de maison autonome au Québec. D'après Belvedair, la construction de maisons autonomes se fait généralement lorsque le coût de branchement à Hydro-Québec est plus élevé que celui du système de production de l'électricité (Belvedair, sd).

Cependant, plusieurs maisons autonomes ont été construites au Québec, telles que la mini-maison autonome de 9,4 mètres cubes à Saint-Alexis-des-monts en Mauricie, qui a servi de maison d'essai pour une maison autonome de plus grande superficie présentement en construction (SolutionEra, 2019c).

La maison Es-Cargo est également une maison autonome au Québec, elle est également la première maison de type "Earthship" au Québec actuellement (Sillaro, 2017).

Les Earthships peuvent être considérés comme des habitations autonomes semi-enfouies, constitués de terre et matériaux recyclés et de récupération tels que des pneus, des canettes d'aluminium et des bouteilles de verre. Le concept est né en 1972 par l'architecte américain Michael Reynolds avec le premier Earthship, « The Thumb House », construit au Nouveau-Mexique. Ces habitations utilisent le chauffage et la climatisation passifs : façade sud-est vitrée ainsi que l'électricité solaire et éolienne. Elles ne disposent pas non plus de système de distribution pour l'eau, mais sont équipées de citerne pour faire de la récupération d'eau de pluie (Sillaro, 2017 ; SolutionEra, 2019c).

Au Canada, il n'existe qu'un seul Earthship à date, l'ES-cargo, construit à Chertsey en 2005 dans la région de Lanaudière par Hélène Dubé et Alain Neveux (Sillaro, 2017).

Une des premières maisons autonomes a été conçue par l'architecte Martin Liefhebber en 1992, lors d'un concours de modèles de maison saine de la Société canadienne d'Hypothèques et de Logement (SCHL). Elle a été ensuite construite en 1996 à Toronto, indépendante du réseau d'approvisionnement en eau, des égouts et d'électricité (Bolduc et Duchaine, 2018).

Enfin, en Estrie, un projet d'habitation autonome de type "co-living" est actuellement en construction, à Eastman. Il s'agit du projet Oasis, construit par SolutionEra. Cette structure aura le plus haut pointage LEED platine en plus de produire plus d'énergie qu'elle n'en consommera et sera faite à partir de matériaux locaux et écologiques (Bernier, 2020).

Plusieurs modèles de maisons autonomes sont donc de plus en plus présentés sur le marché canadien, ce qui décrit un engouement croissant pour les maisons écologiques et leurs enjeux. De plus, le Canada possède une expertise en construction en climat nordique. Elle a su consolider ses compétences en construction d'habitations durables et en développement de matériaux et de technologies durables et éco-énergétique (Conseil du bâtiment durable au Canada, 2016).

2.5. Les enjeux des maisons autonomes dans les climats froids

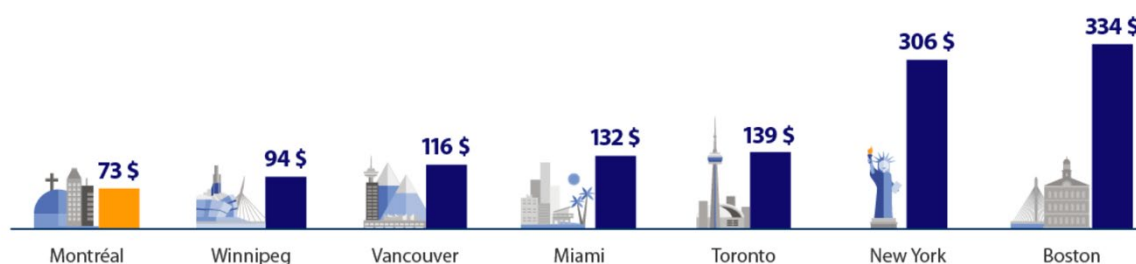
Cette section expose les enjeux des bâtiments durables dans les climats froids, dont la maison autonome. Ainsi, les enjeux évoqués sont les suivants : enjeux économiques, environnementaux, sociaux, techniques et réglementaires.

2.5.1. Les enjeux économiques

Les bénéfices reliés aux bâtiments durables sont nombreux. Cette section décrit dans un premier temps les gains économiques obtenus via l'autonomie des structures, suivis des coûts initiaux et la valeur des maisons écologiques sur le marché. Enfin, les différentes subventions et financements accordés pour les constructions et rénovations écologiques sont détaillés.

Des gains économiques par l'autonomie

Les tarifs électriques sont les mêmes partout au Québec pour un souci d'équité envers tous les citoyens et sont actuellement les tarifs les plus bas d'Amérique du Nord, ce que montre la Figure 14 (Hydro-Québec, 2020).



Tarifs en vigueur le 1^{er} avril 2019.

Figure 2.7 Les tarifs québécois les plus bas de l'Amérique du Nord (Tirée de : Hydro-Québec, 2020)

La mise en place de systèmes auxiliaires d'énergie, tels que des panneaux solaires ou éoliennes avec batterie permettent une autonomie totale, une résilience en énergie et un coût nul d'électricité, qui permet une partie voire la totalité du chauffage selon la consommation. Une connexion au réseau public permettrait à la fois de prendre le relais en cas de panne, et de revendre le surplus d'énergie lors de journées particulièrement ensoleillées. Cela amènerait à un double gain monétaire (Hartmann, 2018).

En plus d'une production d'électricité par énergie solaire et/ou éolienne et l'autonomie au niveau du chauffage dû à la production d'électricité, une isolation thermique, une bonne étanchéité, et l'orientation de la structure à haute performance énergétique, la maison autonome permet également la production d'eau par récupération et filtration d'eau de pluie et une partie - voir l'entièreté- des besoins en nourriture via une serre solaire 4 saisons. Cela amène à une diminution drastique du coût de vie et d'énergie (Ecohabitation, 2012d ; Hartmann, 2018). En effet, un bâtiment écoénergétique engendre des économies allant de 30% à 70% tout en optimisant le confort des habitants (Soumissionrenovation, 2019a).

Actuellement, l'autonomie électrique est rentable partout dans le monde sauf au Québec, car il dispose déjà d'une énergie renouvelable à 99% avec des coûts très bas. Cependant, selon les bilans du Plan 2020-2029 d'Hydro-Québec, les approvisionnements disponibles d'Hydro-Québec Distribution sont suffisants pour répondre aux besoins jusqu'en 2026 et jusqu'à 2025 en puissance. Par la suite, Hydro-Québec doit prévoir de nouveaux approvisionnements par des appels d'offres en énergie et en puissance, ce qui amènerait à des coûts plus élevés, amenant une rentabilité économique des maisons autonomes au niveau de l'électricité par le futur (Hydro-Québec, 2019 ; Gagnon, 2020). De plus, le solaire devient de plus en plus efficace et de moins en moins polluant, le prix du solaire diminue alors que celui de l'hydroélectricité est amené à augmenter, amenant à atteindre une parité. Ainsi, de plus en plus de compagnies font du solaire, amenant un futur essor de ces systèmes axillaires dans les prochaines années (Gagnon, 2020 ; Gouvernement Canada, 2020b).

Coût initial et valeur sur le marché

Cette logique économique est avancée pour justifier le choix de maisons écologiques malgré des coûts de base un peu plus élevés qu'une maison traditionnelle (Mangold, 2016). Selon une étude de marché de l'habitation écologique au Québec datant de 2014, 66 % des entrepreneurs évaluaient des surcoûts de 2% à 5%, comparés à ceux d'une habitation traditionnelle. Par contre, environ 69 % des courtiers immobiliers estimaient une augmentation de la valeur ajoutée de 5 à 25% sur le marché pour les maisons écologiques, soit un profit intéressant (Desrosiers et Tosser, 2014).

Ces coûts initiaux plus élevés à l'achat peuvent s'expliquer par l'utilisation de matériaux plus écologiques et rares et de meilleure qualité et par une main-d'œuvre qualifiée. Cependant, avec une augmentation croissante de la demande et une expertise plus répandue, la construction ou la rénovation d'une habitation écologique ne reviennent pas nécessairement plus chères. Cela dépend plus du style de maison et de la conception désirée (Belvedair, 2020).

Le prix varie également en fonction de plusieurs facteurs tels que la taille, la provenance des matériaux (récupération, locaux, réutilisation) et l'installation de systèmes auxiliaires énergétiques tels qu'un système de récupération de chaleur pour l'eau chaude, l'installation d'un plancher radiant et/ou de panneaux solaires photovoltaïques. Ces surcoûts représentent plutôt un investissement d'économies donc une rentabilité à long terme (Belvedair, 2020 ; Cosgrove, 2011 ; Soumissionrenovation.ca, 2019a).

Cependant, il est possible de construire une maison écologique à un coût analogue à celui d'une maison traditionnelle (Cosgrove, 2011 ; Soumissionrenovation, 2019a). Cela dépend si l'on procède à une autoconstruction ou si l'on fait appel à un entrepreneur. En effet, une maison autoconstruite reviendrait à 100\$ le pied carré (soit 100\$ pour 0,09 mètre carré) et une maison clé en main de 150 \$ à 220\$ le pied carré, sans compter les coûts reliés au terrain et aux branchements sanitaires et d'eau (Cosgrove, 2011).

La construction de bâtiment durable bénéficie d'une forte demande sur le marché de l'immobilier et certains entrepreneurs se spécialisent dans ce secteur (Soumissionrenovation, 2019a). De plus, lorsque des structures sont certifiées, elles restent moins longtemps sur le marché, malgré un coût plus élevé que les maisons aux mêmes spécificités, mais sans certification (Lecomte, 2012). Leur rentabilité plus

importante les rend alors financièrement plus intéressantes pour les différents acquéreurs, avec une idée de prévoyance des futures dépenses et aléas (Mangold, 2016).

Financements, subventions et incitatifs pour les maisons écologiques

Plusieurs aides gouvernementales, subventions bancaires ou rabais au niveau des assurances sont accordés pour la construction ou la rénovation écologique. Les institutions financières présentent des offres afin d'encourager la mise en place d'habitations durables :

- L'offre " Habitation verte " de la banque Desjardins récompense l'achat d'une maison neuve et la rénovation écologique par le biais d'une remise en argent allant de 500 \$ pour une rénovation à 2000 \$ pour l'achat ou la construction d'une maison écologique. Elle offre également un rabais sur l'assurance habitation de 10 %, des gratuités, ainsi qu'une bonne tarification hypothécaire (Desjardins, 2020).
- Des solutions de financement pour l'achat de produits ou services énergétiques, permettant un rabais de 100 \$ pour un prêt remboursable et de réduire les taux d'intérêt de 1% via l'hypothèque Énergie RBC de la Banque Royale (Banque Royale, 2020).

Des subventions plus conséquentes sont accordées par le gouvernement provincial, afin d'améliorer l'efficacité énergétique d'une habitation. On peut citer l'aide financière Rénoclimat pour l'amélioration du système de chauffage, de l'isolation et l'étanchéité de la maison; l'aide financière Novoclimat permet d'obtenir une aide financière pour la construction de maisons et multi logement à haute performance énergétique ; l'aide financière de Chauffez Vert (de 225 \$ à 1275\$ selon l'habitation et les travaux) permet de remplacer le système de chauffage alimenté par des ressources fossiles par un système alimenté par une énergie renouvelable admissible comme l'électricité. Enfin, le programme Éconologis permet d'avoir accès à des services gratuits en efficacité énergétique, afin d'améliorer le confort des habitations (Transition Énergétique Québec, 2020a).

Le gouvernement du Québec a, le 25 mai dernier, augmenté le montant des subventions en rénovation et construction écoénergétique pour une relance résiliente et verte. Ainsi, trois programmes renommés de soutien aux habitations écoénergétiques, administrés par Transition Énergétique Québec, ont été bonifiés, à savoir les programmes Rénoclimat, Chauffez Vert et Novoclimat (Transition Énergétique Québec, 2020b).

Cette bonification permet de stimuler la transition écologique au Québec, de pousser la rénovation du parc immobilier actuel et améliorer l'efficacité énergétique des futurs projets de construction. Au niveau fédéral, le programme Maison écolo de la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) offre une remise de prime jusqu'à 25% pour les propriétaires effectuant des travaux de rénovation en vue de réduire la consommation énergétique s'ils contractent un prêt assuré par l'organisme. Il offre également un remboursement partiel du coût de l'assurance hypothécaire (SCHL, 2018).

Enfin, il est possible d'obtenir des subventions auprès d'autres institutions ou entreprises telles que des aides d'Hydro-Québec, de Gaz Métro et Gazifère pour une meilleure efficacité énergétique des

habitations, et des rabais au niveau des assurances pour les structures certifiées LEED par les assurances La Capitale et ALPHA (Ecohabitation, 2017).

De nombreuses aides existent afin d'accroître la réalisation d'habitations écologiques et amener le marché québécois immobilier actuel vers un marché plus vert et bénéfique pour l'environnement.

2.5.2. Les enjeux environnementaux

Si la construction d'habitations résidentielles est nécessaire, leurs empreintes environnementales sont considérables et se font sentir sur les différents milieux et ressources naturelles tout le long de leur cycle de vie. Elles ont aussi des impacts sur la santé humaine.

Comme énoncé à la section 2.1, le secteur du bâtiment et de la construction représenterait 36 % de la consommation d'énergie totale mondiale, 39 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) étaient liées à l'énergie en 2018, mais également 10% émissions des particules en suspension dans l'air et 25% des déchets envoyés aux sites d'enfouissement (Global Alliance for Buildings and Construction, 2019 ; Lessard, 2017).

Au Canada, en 2015, les bâtiments représentaient 12% des émissions totales de GES et 17%, en tenant en compte les émissions liées à la consommation d'électricité (Sénat Canada, 2018).

Les bâtiments durables, par leurs caractéristiques et leur conception, minimisent leur empreinte environnementale sur les milieux naturels tout en répondant aux besoins de base des occupants.

Les matériaux utilisés pour la construction des bâtiments sont pourvus d'une charge écologique, et les impacts environnementaux associés à l'ensemble du cycle de vie de certains matériaux peuvent être majeurs, particulièrement ceux qui impliquent des matières premières non renouvelables ou un transport important pour leur production et distribution par exemple (Simard, 2009).

Dans une optique de neutralité des impacts environnementaux, les matériaux durables et locaux non traités sont étudiés et utilisés pour la construction, l'ameublement et comme récupérateurs de chaleur des habitations autonomes. En effet, l'utilisation de produits locaux réduit les émissions de GES liés aux transports. En ce qui concerne les matériaux récupérateurs de chaleur, certains matériaux lourds tels que la pierre, la brique ou la terre crue, se comportent comme accumulateurs de chaleur l'hiver ou de fraîcheur l'été, grâce à leur inertie thermique. (Voir Figure 15) L'utilisation de ces matériaux dans un design solaire passif permet de rendre le bâtiment plus autonome en énergie en tirant parti de l'énergie gratuite et non polluante du Soleil (Kibert, 2016 ; Morneau, 2005 ; Poirier, 2013 ; Roy, 2015). Une exploitation avantageuse de cette conception passive contribuerait jusqu'à 40% du chauffage de la maison (Belvedair, 2020).

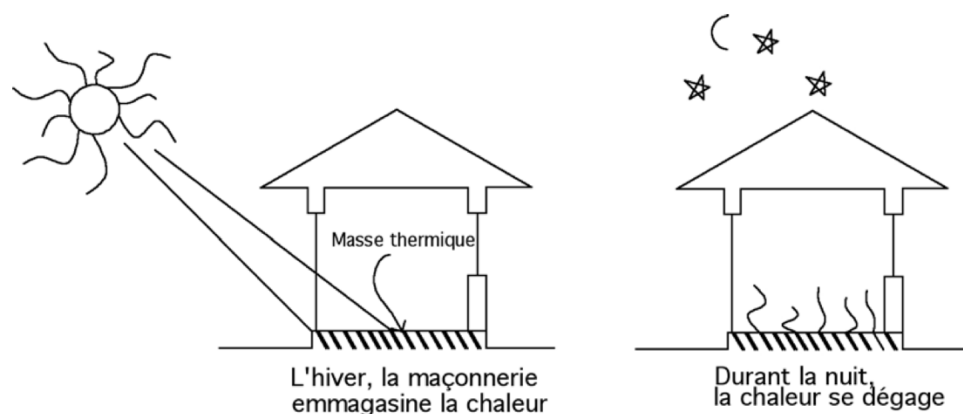


Figure 2.8 Application de l'inertie thermique des matériaux dans le cas d'une maison résidentielle. (Tirée de Morneau, 2005)

Ainsi, le soleil avec son rayonnement va pouvoir procurer, en plus de l'électricité via des panneaux solaires photovoltaïques, suffisamment de chaleur afin de subvenir aux besoins des occupants tout au long de l'année, ce qui permet de ne pas utiliser des ressources naturelles extérieures afin de chauffer la maison. Le soleil devient alors la source locale de chaleur et d'électricité, tout en s'alignant avec la nature. De plus, une conception stratégique, ainsi qu'une isolation et une étanchéité optimisées dispensent les pertes de chaleur. Cependant, dans les climats froids, l'utilisation supplémentaire d'un chauffage au bois peut se révéler nécessaire comme ressource complémentaire. Le chauffage au bois peut avoir des usages multiples, en effet, le foyer au bois peut servir à la fois pour le chauffage de l'habitation, mais également pour la cuisson des aliments et le chauffage d'eau comme usages alternatifs (Hartmann, 2018).

On peut citer comme exemple l'Earthship Es-Cargo qui utilise un foyer de bois "rocket", foyer de masse artisanale issus de matériaux récupérés, qui sert principalement à chauffer l'habitation l'hiver et permet notamment la cuisson des aliments et le chauffage d'eau (Es-Cargo, 2019 ; SolutionEra, 2020b).

La production et la consommation énergétique se positionnent comme des enjeux environnementaux importants par leur augmentation et leurs impacts conséquents sur l'environnement. Ils représenteraient 78% des émissions de GES à l'échelle mondiale, comprenant la consommation d'énergie fossile pour le transport, la production d'électricité, le chauffage et la climatisation des bâtiments, mais également la production de gaz et de pétrole (Gouvernement Canada, 2020a).

Les habitations autonomes tirent leur énergie de sources renouvelables comme le soleil, le vent, ou l'eau via l'utilisation de systèmes auxiliaires d'énergie tels que des panneaux solaires, éoliennes ou turbines, couplés à des batteries permettent une résilience énergétique. De plus, la conception stratégique de l'habitation permet de réduire la consommation énergétique (Morneau, 2005 ; SolutionEra, 2019 ; SolutionEra, 2020b ; Wiper, 2020).

En effet, il est possible de compenser au moins 50% des besoins en chauffage par une exposition au soleil couplée à une bonne isolation, voire même jusqu'à 80% (Belvedaire, 2020 ; Soumissionrenovation, 2019a). Cependant au Québec, qui possède l'énergie la plus propre au monde par l'utilisation de

ressources renouvelables, il est intéressant d'être couplé au réseau électrique afin de réduire les impacts intrinsèques liés aux systèmes auxiliaires (Ecohabitation, 2013 ; Pineau et Whitmore, 2020).

L'eau couvre plus de 70% de la surface terrestre, mais la disponibilité d'eau douce potable et accessible s'évalue à moins de 1% (Hanne Culhuac Schmidt, 2012). Sa répartition et sa disponibilité font de l'eau une ressource précieuse et fragile, dont la consommation et la qualité sont devenues un enjeu mondial. En effet, la croissance démographique, la surconsommation ainsi que les activités humaines participent à l'épuisement des ressources en eau potable, mais également à la qualité de cette dernière.

L'eau se présente comme une ressource à la fois précieuse et fragile. Elle constitue une ressource précieuse et fragile dont la consommation et la conservation de sa qualité sont devenues un enjeu mondial. La croissance démographique ainsi que les activités humaines participent à l'épuisement des ressources en eau potable, mais également à la qualité de cette dernière (Hanne Culhuac Schmidt, 2012 ; Radio-Canada, 2018 ; Wiper, 2020).

La diminution de la consommation d'eau fait partie des objectifs des maisons autonomes et des maisons écologiques. En effet, lorsque l'on vise une autonomie globale dont l'autonomie en eau, on fait le choix d'avoir un mode de vie plus axé sur la simplicité volontaire, dont une réduction des consommations globales pour plus de résilience. L'eau est procurée par un système d'alimentation naturel et non mécanique, tel que l'eau de pluie ou une source d'eau. L'eau de pluie est facile à filtrer. Elle est récoltée dans des citernes d'eau et recyclée jusqu'à 4 fois au niveau des maisons autonomes via la répartition des eaux potables, des eaux grises et des eaux noires. Les eaux grises issues de la consommation des occupants sont utilisées pour les plantes en serre, car enrichies en phosphate, l'eau filtrée par les plantes est ensuite envoyée au niveau des toilettes, dont les eaux noires seront utilisées ultérieurement comme engrais pour les plantes extérieures (Bolduc et Duchaine, 2018 ; SolutionEra, 2019a ; Wiper, 2020).

Une maison autonome, par son fonctionnement, crée de l'abondance. Dans ce sens, elle crée un impact régénératif, que l'on retrouve dans la vision du *Living Building Challenge* à savoir qu'on aide la planète dans son processus de régénération de ses ressources au lieu de les appauvrir. La maison autonome se présente comme modèle désuet de société indépendante (Wiper, 2020).

2.5.3. Les enjeux sociaux

Les habitations durables présentent des impacts reliés à la santé, au confort et au bien-être des occupants. En ce sens, la section suivante décrit en quoi les habitations influent sur la qualité de l'environnement intérieur, sur la productivité des occupants, sur les emplois et en quoi elles participent à la paix dans le monde.

Qualité de l'environnement intérieur

La qualité de l'environnement intérieur est relative au confort et à la santé des habitants (soumissionrenovation, 2019a). Plus de la moitié de l'air que nous respirons est inhalé à l'intérieur de notre maison. En effet, les citoyens canadiens passeraient environs 90 % de leur temps à l'intérieur d'un bâtiment, particulièrement dans les bâtiments résidentiels, où la qualité de l'air serait en moyenne

trois fois plus polluée qu'à l'extérieur (Dales et Collab, 2008 ; Ecohabitation, 2009 ; Huppé, Levasseur et Poulin, 2016 ; Santé Canada, 2019 ; World Green Building Council, 2018).

Ainsi, même si l'une des fonctions premières des habitations est de procurer le confort et la protection aux ménages, ces derniers peuvent être exposés sans en avoir conscience à des contaminants provenant de sources intérieurs et extérieurs, avec des incidences sur leur santé. Cela découle de caractéristiques conceptuelles et structurales du bâtiment : mauvaise conception et construction des bâtiments, avec une ventilation inadéquate, des composés organiques volatils (COV) émanant des peintures, les matériaux de construction toxiques (amiante, peintures) (Ecohabitation, 2009 ; Huppé, Levasseur et Poulin, 2016). Cela provient également des caractéristiques de l'environnement extérieur (polluants présents dans l'air extérieur, conditions climatiques et météorologiques, caractéristiques du sol et conditions géologiques). En effet, une étude portant sur la qualité de l'air de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) affirme que 92% de la population mondiale vivrait dans un environnement où les niveaux de qualité de l'air serait dangereux pour la santé, ces niveaux ne respectant pas les seuils fixés par l'OMS, voir Figure 16 ci-dessous (OMS, 2016). Aussi, la qualité de l'environnement intérieur résulte des comportements des occupants, à savoir le choix et l'utilisation des matériaux de construction, d'ameublement et de décoration, les comportements quotidiens ainsi que les produits nettoyants utilisés (Huppé, Levasseur et Poulin, 2016).

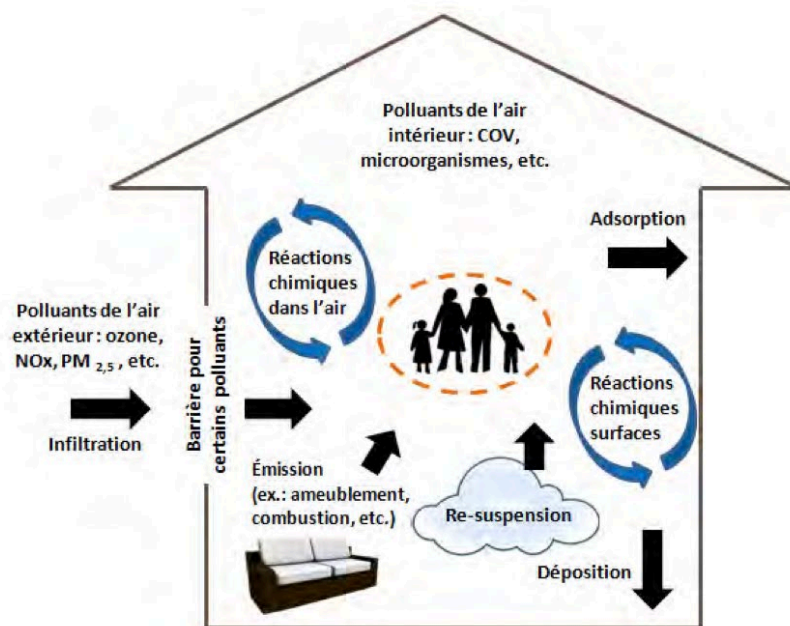


Figure 2.9 Les facteurs influençant l'exposition aux contaminants extérieurs et intérieurs (Tirée de Huppé, Levasseur et Poulin, 2016 et adapté de Laumbach, Meng et Kipen, 2015)

La qualité de l'air constitue un enjeu de santé et de sécurité. L'enjeu de santé, en forte corrélation avec celui du confort, fait référence à une habitation saine, en particulier via la qualité de l'air intérieur et aux matériaux employés. De plus, les changements climatiques et l'augmentation des températures amèneraient la population à passer davantage de temps dans leur habitation lors de vagues de chaleur ou de froid (Huppé, Levasseur et Poulin, 2016). En ce sens, il est nécessaire que l'habitation soit conçue

de façon à assurer leur santé et leur confort via une bonne qualité de l'air intérieur (CCHST, 2020 ; Kibert, 2016 ; Huppé, Levasseur et Poulin, 2016).

L'enjeu de confort est quant à lui lié à la recherche de chaleur en hiver et de fraîcheur en été, ainsi qu'à une luminosité importante. Le confort thermique est souvent essentiel, notamment dans les climats froids comme au Québec, cela nécessite une isolation supérieure et des équipements de chauffages et de climatisation adaptés (Mangold, 2016).

Les habitations durables intègrent le confort et la santé dans leur conception et objectif, tout en prenant en compte la réalité climatique de demain. Elles sont conçues pour privilégier la pénétration de la lumière naturelle et l'accès aux vues extérieures via la mise en place de fenêtres triple vitrage aux endroits stratégiques. Elles sont conçues également pour diminuer la pollution sonore intérieure et procurer un confort thermique via une meilleure isolation. Comme les maisons résilientes privilégient l'usage de matériaux naturels, elles présentent non seulement des bénéfices environnementaux, mais également des bénéfices du côté de la santé des habitants. Ainsi, les matériaux de construction traditionnels sont alors évités, ce qui limite la propagation des COV. Les bâtiments durables sont également dotés de systèmes de ventilation plus performants, couplés à l'usage de matériaux non toxiques - utilisés comme filtres naturels - permettent d'établir un renouvellement naturel de l'air de la maison. Une bonne ventilation permet un apport d'oxygène ainsi que l'élimination des odeurs et de la pollution. Enfin, certains matériaux - brique de terre crue, paille, béton de chanvre - contribuent à la régulation naturelle de l'humidité interne, minimisant la prolifération de champignon et moisissures, néfastes pour la santé (CBDC, 2020 ; Dubois et Lebeau, 2014 ; SolutionEra, 2020).

Effet sur la productivité

Des études ont démontré qu'une meilleure conception de l'environnement intérieur des maisons et des spécificités écologiques de conception du bâtiment favorisent l'augmentation de la productivité des occupants, en plus de leur bien-être et de leur santé. En effet, d'après une recherche d'étude de cas pour le bâtiment durable mené par le *World Green Building Council*, une structure durable amènerait à une amélioration des fonctions cognitives de 101% à l'apport d'air frais via une meilleure ventilation, avec un gain de productivité de 11%. On estime aussi que ce gain pourrait atteindre 11% par un contrôle thermique, et 18% par l'accès à des fenêtres ouvrantes et à la lumière naturelle et 23% d'une bonne lumière et un accès à une vue extérieure. Le contrôle du son par des matériaux isolants éviterait une baisse de 66% des performances liée aux bruits. Aussi, une augmentation des capacités de mémorisation de 10% à 25% serait possible lors d'un accès à une vue extérieure. Ainsi, les bâtiments influencent directement sur notre productivité, et l'optimisation du bien-être et de la santé des occupants se transcrit par une plus grande efficacité et une meilleure qualité du travail (Edwards et Naboni, 2013 ; Faculty of Toronto, 2013 ; Ghodrati et al., 2012 ; Mitsubishi electric, 2014 ; World Green Building Council, 2018).

Effet au niveau des emplois

Le bâtiment durable a des conséquences au niveau des emplois. En 2014, l'industrie du bâtiment durable comptait 297 890 emplois directs, ce qui représente plus d'emplois que l'ensemble des emplois

dans les industries de l'extraction pétrolière et gazière et de la foresterie et extraction minière, soit 270 450 emplois (Conseil du Bâtiment durable du Canada, 2016). De plus, l'achat local est favorisé afin de réduire les impacts liés aux transports, ce qui permet le développement des emplois locaux, de dynamiser les économies des collectivités locales, de favoriser l'équité salariale- les normes du travail québécoises assurent le bon traitement des travailleurs- et assurent une bonne qualité au niveau des matériaux (Conseil du Patronat du Québec, 2018).

Participe à la « paix » dans le monde

Des litiges internationaux existent quant à la propriété et l'exploitation des ressources naturelles. Ces dernières sont régulièrement des sources de conflit entre les états, les communautés locales, en relation avec l'exploitation et l'accès à ces matières premières. En effet, les ressources naturelles, du fait de leur rareté, peuvent aviver des tensions, menant à des guerres de ressources ou guerres environnementales (Hugon, 2009 ; Serfati et Le Billon, 2007).

Une maison autonome utilise des matériaux locaux disponibles. De ce fait, en n'important pas de ressources de pays voisins, elle ne participe pas à ces tensions et pourrait donc contribuer à la diminution de ces conflits, voire à leur disparition, ce qui participerait à l'élaboration d'un monde plus en paix (Bernier, 2020 ; Serfati et Le Billon, 2007 ; Wiper, 2020).

2.5.4. Les enjeux techniques

L'étape de recherche et planification est primordiale au succès de tout projet de construction d'une habitation écologique (Soumissionrenovation, 2019a). Afin de se lancer dans un projet de maison autonome, de le prendre en main et de l'adapter à ses valeurs, ses objectifs et ses besoins, il est important de bien saisir les principes, les enjeux et les spécificités des maisons autonomes au moyen de recherches d'informations via des revues et sites spécialisés et d'actualités sur l'habitation durable (Lecomte, 2012 ; SolutionEra, 2020).

Il s'agit également de bien comprendre et évaluer les impacts à court, moyen et long terme dans les décisions de conception d'une maison autonome. Cela nécessite une étude approfondie des composants et des complexités techniques afin de procéder à des choix stratégiques en termes de durabilité et de performance. Ces complexités techniques nécessitent des cours et/ou formations approfondis sur le sujet. Outre les certificats et DESS en bâtiment durable proposés en université, plusieurs organismes indépendants proposent un accompagnement des particuliers dans la réalisation de projets d'habitations durables, via un accès aux documentations techniques, une certification ou des formations. C'est le cas des organismes Ecohabitation et SolutionEra au Québec par exemple (Ecohabitation 2012a ; Soumissionrenovation, 2019a).

Ces organismes offrent une série de formations complètes permettant de planifier et de concevoir son projet de construction ou de rénovation, encadrées par des experts spécialisés tout au long du processus et même au-delà. Ces formations passent en revue toutes les particularités des techniques alternatives des constructions, et exposent en profondeur les matériaux et produits employés pour la construction d'habitation écologique par rapport à leur empreinte environnementale via une analyse de cycle de vie. Des formations thématiques sont également proposées pour approfondir ses

connaissances et renforcer l'autosuffisance, telles que la gestion de l'eau, l'autonomie alimentaire... (Ecohabitation, 2012a). Ces différentes étapes essentielles au succès du projet de construction écologique amènent alors à une habitation bien conçue qui intègre à la fois l'environnement, l'efficacité énergétique et le confort et la santé des occupants. Enfin, lors de la conception, la construction et l'installation et selon les matériaux utilisés et la complexité de plan de conception, les réalisations techniques nécessitent l'appel de professionnels spécialisés en écoconstruction et de main d'œuvre qualifiée (Walter, 2012).

2.5.5. Les enjeux réglementaires

Si le projet de construction d'une maison autonome nécessite une bonne planification, il est tout aussi essentiel de s'assurer d'être en conformité avec la loi avant son amorçage. Au Canada, le *Code national du bâtiment* régit la construction des nouveaux bâtiments et les rénovations majeures de ceux existants. La mise en application des codes du bâtiment est une compétence provinciale au Canada. Il revient alors aux autorités provinciales, parfois aux municipalités lorsque le pouvoir est délégué, d'adopter et appliquer les codes (SénatCanada, 2018). La réglementation qui se rapporte aux travaux résidentiels relève des municipalités et ne se rapporte pas à la *Régie du bâtiment du Québec (RBQ)* (Régie du bâtiment, 2020). Cependant, en ce qui concerne l'efficacité énergétique, la qualité de l'air, le gaz naturel et l'électricité, la RBQ a une juridiction pour la section résidentielle (SolutionEra, 2019b).

Normes de construction municipales

Les maisons autonomes surpassent les exigences du Code de la construction du bâtiment, car les normes de construction municipales sont en retard par rapport aux exigences de la norme Novoclimat. Cette norme étant en avance sur *le Code de construction* du bâtiment, les maisons autonomes se basent sur cette dernière (Bernier, 2020). De plus, le Code de construction s'inspire de la norme Novoclimat dans les derniers règlements entrés en vigueur (Ecohabitation, 2012).

Les normes concernant la construction d'une habitation sont propres à la municipalité reliée à la future maison. Il est indispensable de valider avec cette dernière les points suivants avant de débiter le projet (Régie du bâtiment, 2020).

La réglementation relative au zonage relève de la compétence municipale selon la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* (L.R.Q. c. A-19.1, art.113, par 5). Cet aspect est à prendre en compte, car plusieurs projets écologiques se sont retrouvés bloqués suite à des problèmes de zonage. La majorité des municipalités ne permettent pas la construction de maisons dont la superficie est inférieure à 750 pieds carrés, soit 70 mètres carrés. Les dimensions permises concernant la superficie sont à vérifier avec la municipalité, aspect souvent réglementé par les municipalités (Bernier, 2020 ; SolutionEra, 2019b).

Les marges de dégagement sont également à voir avec la municipalité et permettent de connaître la surface autorisée où l'on peut construire sur le terrain (SolutionEra, 2019b). L'autonomie alimentaire pourrait être atteinte via l'élevage de poules. L'aménagement de poulailler est de plus en plus populaire en milieu urbain. Cependant, comme toute personne possédant un animal doit s'assurer de son bon traitement d'après la *Loi sur le bien-être et la sécurité animale*. De plus, certaines municipalités

n'autorisent pas la possession de poules en milieu urbain, et lorsqu'elle est permise, elle est encadrée par un règlement sur les dispositions des déjections, la distance par rapport aux lignes de propriété, les particularités du poulailler ou la grandeur du terrain nécessaire (Ministère de l'Agriculture, Pêcherie et Alimentation, 2020).

Autoconstruction

Un projet d'autoconstruction est encadré par la *Commission de la construction du Québec* (CCQ), responsable de conventionner la rémunération des travailleurs de la construction. Une licence doit être obtenue lors d'embauche de travailleurs pour les travaux nécessaires à la concrétisation de l'habitation afin d'être conforme à la *Loi sur les relations de travail, la formation professionnelle et la gestion de la main-d'œuvre dans l'industrie de la construction* (Loi R-20) (Soumissionrenovation. 2019b).

L'obtention d'un permis de construction constitue une des premières étapes à effectuer lors d'un projet d'autoconstruction, la demande de permis se fait auprès de la municipalité reliée à la future habitation.

Il n'est pas possible de procéder soi-même à toutes les étapes de construction, comme les travaux d'installation de dispositifs électriques et de gaz qui doivent être exécutés par des professionnels certifiés par la Régie du bâtiment du Québec. De même, les travaux de fondation et de construction de la charpente demandent une carte de compétence (SolutionEra, 2019b ; Soumissionrenovation. 2019b).

Enfin, concernant la réglementation concernant les bénévoles sur un chantier, cette dernière a été depuis peu réétudiée par le gouvernement du Québec, il en ressort plus de tolérance vis-à-vis du bénévolat (SolutionEra, 2019b).

Autonomie en électricité

D'après l'alinéa 2 de l'article 60 de la Loi sur la Régie de l'énergie, il est mentionné le droit de "produire et de distribuer sur son réseau l'électricité qu'il consomme". (L.R.E.c-22. A-19, art.60 al.2) (LégisQuébec, 2020d). L'autoproduction est donc une activité permise. Cependant, les installations doivent respecter les sections du *Code de construction du Québec* et du *Code de sécurité du Québec* qui les concernent. Ainsi, lors d'une production d'électricité par une éolienne ou un système photovoltaïque, l'installation doit être conforme aux deux codes cités (Paradis, 2011 ; Régie du bâtiment, 2010d).

- L'article 11 du chapitre II du *Code de sécurité du Québec* stipule que
"Tout appareillage électrique utilisé dans une installation électrique ou tout appareillage raccordé en permanence à une telle installation doit être approuvé pour l'usage auquel il est destiné" (B-1.1, r.3, art 11) (LégisQuébec, 2020b).
- L'article 5.05 de la Section III du chapitre V (2-024 "Approbation d'appareillage électrique utilisé dans une installation électrique, destiné à être alimenté à partir d'une installation électrique ou à alimenter une telle installation") du *Code de Construction du Québec* stipule que
"Tout appareillage électrique utilisé dans une installation électrique doit être approuvé pour l'usage auquel il est destiné" (B-1.1, r.2, art 5.05) (LégisQuébec, 2020a).

Autonomie en eau

La juridiction au niveau de la gestion des eaux pluviales relève du niveau provincial, mais certains cas peuvent toucher la loi fédérale.

- L'article 32.3 de la *Loi sur la Qualité de l'Environnement* (L.Q.E. c. A-59, art. 32.3) stipule par ailleurs que nul ne peut établir un appareil pour la purification de l'eau ni procéder à l'installation de dispositifs pour le traitement des eaux usées avant d'avoir obtenu une autorisation du Ministère de l'Environnement et de Lutte contre les Changements Climatiques. De plus, "le demandeur d'une autorisation relative à une installation de gestion ou de traitement des eaux qui n'est pas exploitée par une municipalité [...] territoire doit soumettre à l'appui de sa demande un certificat du greffier ou du secrétaire-trésorier de la municipalité sur le territoire de laquelle l'installation est située attestant que cette municipalité ne s'objecte pas à la délivrance de l'autorisation pour le secteur desservi par cette installation.

Si la municipalité s'objecte à la délivrance de l'autorisation, le ministre doit tenir une enquête et permettre aux intéressés de présenter leurs observations avant de prendre sa décision." (LégisQuébec, 2020c ; MELCC, 2015).

3. RÉALISATION D'UNE ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DE CYCLE DE VIE COMPARATIVE D'UNE MAISON AUTONOME ET UNE MAISON TRADITIONNELLE QUÉBÉCOISE

Le système de produits à l'étude est composé de deux habitations résidentielles destinées à un ménage québécois moyen de 4 personnes. La première habitation est de type conventionnel / traditionnel et la deuxième habitation est une habitation autonome.

3.1. Présentation de la méthodologie

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode permettant d'évaluer l'impact environnemental de processus, de produits ou services en considérant toutes les étapes de son cycle de vie (Joliet, Saadé, et Crettaz, 2010), de l'extraction et du traitement des matières premières, à la fabrication, au transport et à la distribution, à l'utilisation, la réutilisation, la maintenance, le recyclage et son élimination finale ("du berceau au tombeau").

La méthodologie de l'ACV est basée sur les normes ISO 14040 et ISO 14044 (2006). Conformément à ces deux normes, l'ACV comprend quatre étapes principales (Figure 17) :

- Définition des objectifs et du champ de l'étude : objectif général de l'étude, limites du système, sources de données et unité fonctionnelle;
- Analyse de l'inventaire du cycle de vie (ICV) : description détaillée de tous les intrants environnementaux, en matériaux et en énergie, et des sortants, en air, en eau et en émissions solides, à chaque étape du cycle de vie;
- Évaluation des impacts du cycle de vie (EICV) : quantification de l'importance relative de tous les impacts environnementaux obtenus lors de la phase de l'ICV;
- Interprétation des résultats : les résultats des phases EICV et ICV doivent être interprétés pour montrer des aspects critiques, évaluer des scénarios alternatifs et optimiser le processus ou le produit.

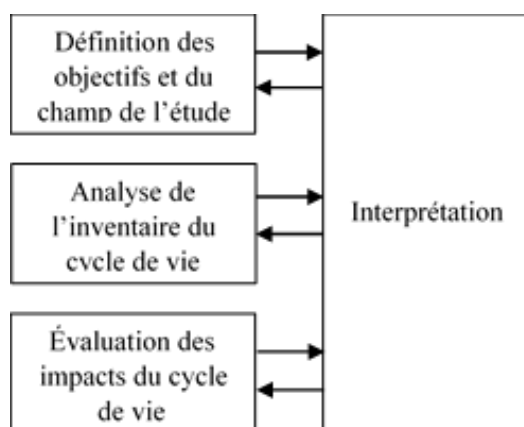


Figure 3.1 Cadre d'une ACV (ISO 14040, 2006) (Tirée de Joliette, 2010)

L'ACV comparative de la construction, de l'énergie d'usage, de la consommation d'eau, de la maintenance des matériaux, et de la fin de vie des deux structures sera réalisée sur l'interface OpenLCA.

3.2. Objectifs

L'objectif de l'étude est d'évaluer sur la base d'une ACV comparative, les impacts environnementaux associés au cycle de vie d'une maison autonome par rapport à ceux associés à celui d'une maison traditionnelle québécoise.

Il sera question de :

- Déterminer les avantages environnementaux de construire ou acquérir une maison autonome par rapport aux habitations traditionnelles, en réalisant une analyse de cycle de vie sur la construction, de l'énergie d'usage, de la consommation d'eau, de la maintenance des matériaux, et de la fin de vie des deux structures.
- Déterminer la pertinence d'une maison autonome au Québec.
- Proposer des recommandations sur le choix des matériaux et la pertinence d'une maison autonome au Québec.

3.3. Champ de l'étude

L'analyse consiste à comparer une maison conventionnelle à une maison autonome de même dimension, soit 92,9 mètres carrés (1000 pieds carrés) afin de quantifier les impacts environnementaux associés. L'ACV réalisée pour cet essai est une ACV attributionnelle, qui quantifie les données d'inventaire par des mesures, estimations et moyennes et permet d'évaluer les divers impacts environnementaux, selon les liens physiques des flux entre les processus et produits.

Afin d'y parvenir, il est nécessaire de déterminer la fonction du système, son unité fonctionnelle et un flux de référence différent pour chacun des scénarios.

3.3.1. Fonction

La fonction de base d'une habitation résidentielle consiste à loger ses occupants et de pouvoir contenir les installations nécessaires pour assurer leurs besoins essentiels. Elle peut remplir d'autres fonctions secondaires comme assurer un confort ou avoir un intérêt esthétique. Ces fonctions secondaires ne sont pas considérées pour l'analyse comparative des deux scénarios puisqu'elles ont plus attrait à l'aspect social de l'ACV et que la présente étude se concentre sur les impacts environnementaux.

L'analyse se concentrera donc sur la fonction de :

« Loger un ménage moyen québécois de 4 personnes »

3.3.2. Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle de l'analyse est la suivante :

« Loger 4 personnes sur une surface habitable de 1000 pieds carrés ou 92,9 mètres carrés, sur une durée de 70 ans »

Cette unité est commune aux deux scénarios et permet de les comparer sur une base équivalente.

3.3.3. Flux de référence

Étant donné que le système à l'étude évalue la performance environnementale d'une habitation résidentielle, les flux de références ne sont pas les mêmes entre les deux systèmes, sachant que la construction et les composantes de chaque modèle sont différentes. L'ACV de chacun de ces scénarios permettra ensuite de déterminer l'impact environnemental propre à chacun. La figure suivante présente le résumé du champ d'études de cette analyse.

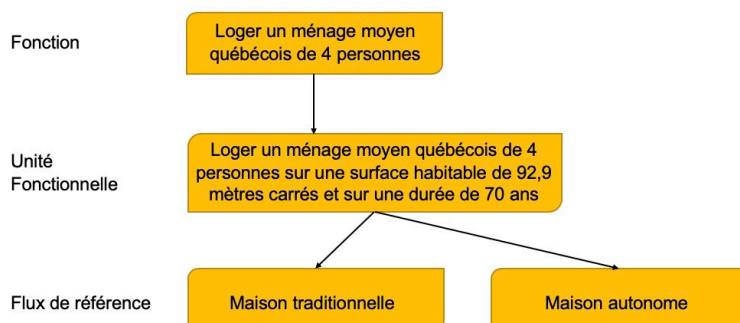


Figure 3.2 Champs d'études de l'étude

3.4. Description du système de produits et frontières

Afin d'obtenir un portrait de l'ensemble des impacts environnementaux du système selon la fonction définie, l'analyse de cycle de vie doit inclure tous les processus ainsi que les flux associés à ces derniers sur l'ensemble du cycle de vie du système à l'étude. Il est nécessaire de définir les limites de l'étude, qui doivent correspondre à la même réalité fonctionnelle dans les différents scénarios.

3.4.1. Champs d'analyse comparative

Pour comparer les impacts environnementaux d'une maison autonome avec une maison traditionnelle, l'analyse doit être ciblée sur différents aspects. Ainsi, cinq composantes principales seront analysées selon l'approche comparative ACV-A : l'énergie, la toiture, les murs extérieurs avec portes et fenêtre, les fondations et le comble. Les éléments identiques entre deux processus ont été écartés de l'analyse selon les règles d'exclusion (Jolliet, Saadé, et Crettaz, 2010) : les meubles, les peintures, équipements ménagers, etc. Cette étude fait donc l'hypothèse que tous les éléments, à l'exception de ceux mentionnés ci-dessus, sont identiques dans les deux scénarios.

3.4.2. Description des processus et du système de produits

Afin d'évaluer l'empreinte environnementale des composantes à l'étude, il est essentiel de diviser le cycle de vie des composantes en étapes afin de déterminer lesquelles ont un impact significatif. Le cycle de vie se présente donc en cinq étapes ou phases :

1. **Phase de pré-production** : elle englobe la conception et la fabrication des matériaux ainsi que l'extraction des matières premières.
2. **Phase de construction** : la mise en œuvre du chantier, cela comprend l'aménagement du terrain avec les fondations, la construction de la charpente, l'élévation des murs, des menuiseries extérieures et revêtements extérieurs. Le transport est également compris dans cette étape.

3. **Phase d'utilisation** : elle comprend la consommation de l'eau, d'énergie et de nourriture.
4. **Phase de maintenance ou entretien des matériaux** : elle consiste à remplacer les matériaux à la fin de leur cycle utile pour maintenir l'état de l'habitation le long de son cycle de vie.
5. **Phase de fin de vie** : cette étape se déroule lors du démantèlement, elle comprend la réutilisation, la valorisation, le recyclage et l'élimination des matériaux.

3.4.3. Frontières du système

Le système présente des frontières géographiques et temporelles à définir et à prendre en considération lors de l'étude.

Frontières géographiques

Dans le cas de l'étude, il est considéré que la globalité des constituants des systèmes est extraite, produite, transformée, utilisée et récupérée ou éliminée au Québec. Des matériaux bruts ou produits spécifiques ont été probablement produits ailleurs. Cependant, les transports associés à ces derniers ont été négligés étant donné les possibilités importantes de provenance possibles et les incertitudes associées.

Frontières temporelles

Pour cette étude, les flux économiques et élémentaires ne présentent pas de variations temporelles significatives. L'année de réalisation de l'étude est 2020. L'inventaire collecté sera représentatif des informations durant cette période. De plus, les données utilisées les plus à jour sont celles de la base de données du logiciel *OpenLCA* et *Athena*, de même que les données des fabricants.

3.4.4. Critère d'exclusion

Dans cette étude, seuls les éléments qui se rapportent à l'enveloppe de l'habitation et les fondations et à la fonction du système à l'étude seront étudiés.

3.5. Inventaire du cycle de vie

Dans cette section, un inventaire complet sera dressé pour les deux systèmes à l'étude. Il est essentiel de poser les frontières de l'étude et fixer les exclusions. Les deux maisons possèdent la même surface utilisable de 92,9 mètres carrés et 1000 pieds carrés. La composition de leur enveloppe est différente. D'un côté, on a une maison en structure de bois avec un revêtement extérieur en bois et un système d'isolation « écologique ». De l'autre côté, un bâtiment avec une structure en bois et un revêtement en briques avec un système d'isolation conventionnel. Pour parvenir à ces inventaires, des sources ont été consultées et des hypothèses posées. La section suivante présente donc les inventaires de l'analyse de cycle de vie des deux maisons, de même que la méthodologie et les hypothèses.

3.5.1. Données primaires

Aucune donnée primaire n'a été utilisée pour établir les inventaires reliés à la construction, l'utilisation, l'entretien / maintenance et la fin de vie. En réalité, il a été difficile d'obtenir des plans ou liste des matériaux de bâtiments similaires à ceux étudiés par souci de confidentialité. En revanche, des

recherches bibliographiques et essais traitants sur des sujets similaires ont été consultés afin de définir les designs. Les sources de données secondaires sont préférables pour obtenir les inventaires.

3.5.2. Données secondaires

L'étude s'est majoritairement basée sur des sources secondaires retrouvées dans des bases de données et lors de différents entretiens.

Sources des données secondaires

La majorité des données secondaires sont les données retrouvées dans des bases de données *Ecoinvent*. Dans le cadre de cette analyse, ce sont les données du logiciel *Athena Impact Estimator for Buildings*, outil simplifié spécifique d'analyse d'impact en Amérique du Nord, et du logiciel *OpenLCA*, outils de modélisation et d'analyse d'impact.

Plusieurs données ont également nécessité des données techniques par les fabricants, soit la tôle d'acier et les panneaux solaires. Elles ont été collectées par entretiens (téléphoniques et emails). Ces entretiens ont été menés avec un fabricant et deux experts afin de connaître des particularités quant à la structure des maisons et des informations sur les matériaux utilisés. Ainsi, un entretien s'est effectué avec un expert en écoconstruction, Stéphane Bernier, pour connaître les meilleurs matériaux à utiliser dans une maison autonome. Un spécialiste en électricité verte, Remi Pratt, fut également contacté afin de confirmer le nombre de panneaux solaires photovoltaïques nécessaires pour la maison autonome en fonction de la consommation annuelle. Enfin, un fabricant de bardeaux d'aluminium (ferblanterie de l'est) fut contacté pour des informations sur le type et la quantité de bardeaux en aluminium nécessaires à la structure autonome.

Description qualitative et quantitative

Les données secondaires constituent tous les processus utilisés dans l'interface d'*Athena* et *OpenLCA*. Ces données proviennent donc d'une banque de données vérifiée et mise à jour régulièrement, elles sont donc pertinentes. Les données secondaires utilisées constituent principalement les procédés généraux de fabrication, d'utilisation, et de traitement en fin de vie. Ces procédés sont constitués de sous-procédés, exprimés sous une chaîne de cause à effet, afin de bien quantifier l'impact et la provenance de chacun des procédés utilisés.

Les procédés provenant du Québec (CA-QC) ont été privilégiés dans l'analyse lorsqu'ils étaient disponibles. Autrement, les procédés provenant du reste du monde (*RoW* ou *Rest of World*) ont été utilisés afin de représenter les procédés de manière plus globale, les procédés ont été par la suite modifiés pour se rapporter au Québec.

De plus, il a été posé comme hypothèse qu'un même procédé nécessite une même quantité d'énergie, peu importe l'endroit dans le monde. De même, la somme totale d'énergie d'un processus est également constante, peu importe où l'on se situe. Ainsi, on peut donc prendre la valeur de cette somme et la rapporter entièrement à l'utilisation d'énergie québécoise si l'on souhaite représenter un processus par rapport au Québec. Cette méthode a été utilisée plusieurs fois lors de l'analyse. L'inventaire est présenté en ANNEXE 1.

Traitement des données manquantes

Les données manquantes sont celles des quantités de masse pour chacun des matériaux utilisés à l'étude, mais concernent également des composantes non présentes dans les logiciels de modélisation. Il a été nécessaire d'estimer à la main les quantités de certains composants comme les bardeaux d'aluminium connaissant les données des fabricants ou le nombre de panneaux solaires photovoltaïques par rapport au potentiel photovoltaïque annuel en Estrie et la consommation annuelle du ménage. Les données manquantes ont été comblées par des hypothèses et celles dont les impacts sont négligeables ont été écartées.

3.6. Évaluation de l'impact du cycle de vie (EICV)

Afin d'examiner le système de produits dans une perspective environnementale, le système de produits étant nos deux habitations, il est nécessaire d'utiliser des catégories d'impact et des indicateurs de catégories en liaison avec les résultats de l'analyse de l'inventaire, et ce, via des méthodes d'analyse spécifiques (Amor, B., 2020).

3.6.1. Choix des méthodes

Les méthodes d'analyse utilisées dans *OpenLCA* sont celles de ReCiPe (Mid-point) et d'IMPACT 2002+ (End-Point) pour l'étude de l'impact des problèmes et dommages sur l'environnement. Ces méthodes permettent de caractériser et classer chaque processus de l'analyse de cycle de vie par une chaîne de cause à effet.

Mécanisme environnemental: Chaîne cause-effet

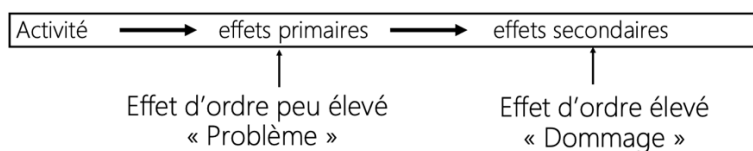


Figure 3.3 Mécanisme environnemental de cause-effet (Tirée de Amor, B., 2020)

La classification pose des liens existants entre les substances de l'inventaire et les impacts environnementaux et la caractérisation quantifie les impacts environnementaux associés aux substances classifiées. La combinaison de ces deux méthodes permet donc de quantifier l'impact de chacun des processus à travers des problèmes occasionnés (Mid-point) et à travers des dommages causés par ces problèmes (End-point).

3.6.2. Description des méthodes

La méthode ReCiPe est une méthode d'EICV développée afin d'harmoniser les approches intermédiaires et de dommages : c'est une méthode hybride qui offre les deux approches. (Thériault, 2011) Cette méthode sera utilisée dans cette étude avec une approche intermédiaire, qui caractérise les impacts des processus en 18 types de problèmes servant d'indicateurs. Chacun des problèmes énoncés ci-dessous comporte son unité de référence, ce qui permet de quantifier le problème relié à l'impact de chacun des processus par cette méthode :

Tableau 3.1 Indicateurs de catégories d'impacts environnementaux et leur unité (Tiré de OpenLCA, 2020)

Indicateurs	Unité de référence
Occupation des terres agricoles	m ² *a
Changement climatique	kg CO ₂ -Eq
Épuisement des ressources fossiles	kg oil-Eq
Écotoxicité des eaux douces	kg 1,4-DCB-Eq
Eutrophisation des eaux douces	kg P-Eq
Toxicité humaine	kg 1,4-DCB-Eq
Radiations ionisantes	kg U235-Eq
Écotoxicité marine	kg 1,4-DCB-Eq
Eutrophisation marine	kg N-Eq
Épuisement des ressources minérales	kg Fe-Eq
Transformation des terres naturelles	m ²
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg CFC-11-Eq
Formation de matière particulaire	kg PM10-Eq
Formation d'oxydant photochimique	kg NMVOC
Acidification terrestre	kg SO ₂ -Eq
Écotoxicité terrestre	kg 1,4-DCB-Eq
Occupation des sols urbains	m ² *a
Épuisement des eaux	m ³

La méthode ReCiPe est conçue selon trois perspectives selon la théorie culturelle de Thompson : Individualiste (I), Hiérarchiste (H) et Égalitaire (E) (Thompson et *al.*, 1990).

Ces perspectives sont subjectives et impactent les résultats du critère d'évaluation en fonction des perspectives de la recherche.

- La perspective individualiste (I) est basée sur les types d'impacts non contestés et l'optimisme technologique à court terme ;
- Perspective hiérarchiste (H) repose sur les principes de politique les plus courants en ce qui concerne le calendrier et d'autres questions ;
- La perspective égalitaire (E) prend en compte la période la plus longue et les impacts qui ne sont pas complètement développés ou établis (Thompson et *al.*, 1990).

La perspective hiérarchiste a été sélectionnée pour l'évaluation d'impact. Les résultats de l'analyse sont présentés à la section 3.6.

La méthode IMPACT 2002+ est également une méthode hybride. Elle caractérise les impacts des processus en 15 types de dommages servant d'indicateurs. La quantification des dommages nécessite de faire une normalisation et de regrouper les problèmes sous différentes catégories d'impact. Les 15 problèmes sont alors divisés en 4 catégories d'impacts comme le montre la Figure 20 ci-dessous :

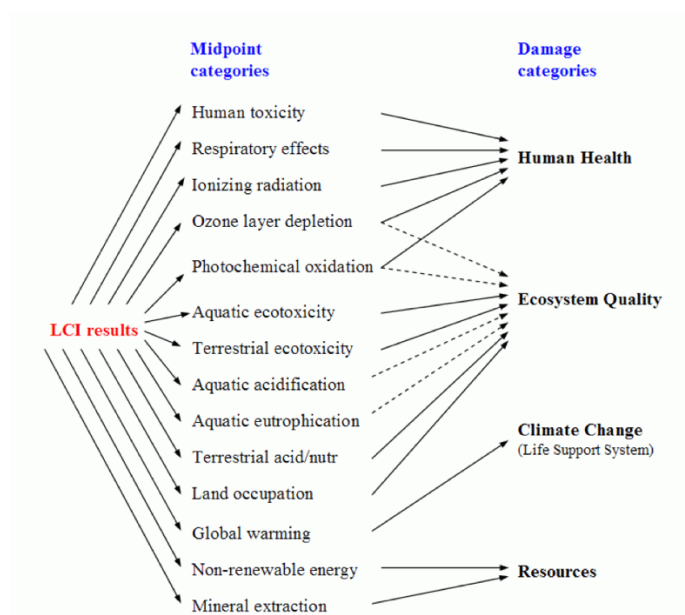


Figure 3.4 Schéma global de la méthode IMPACT 2002+ (Tiré de : Joliette, 2010)

Le choix des méthodes s'est effectué en fonction de leur pertinence et fiabilité. Les deux méthodes font en effet partie des plus récentes développées et ont prouvé leur fiabilité à travers de nombreuses ACV au fil des années.

3.6.3. Limitations des méthodes d'EICV

Les résultats des ACV diffèrent selon la méthode d'évaluation des impacts choisie. En effet, des études ont démontré que les différences entre le choix des méthodes d'évaluation des impacts influencent les résultats des ACV. Ces différences amèneraient à des classements distincts des substances des principaux contributeurs à l'impact environnemental, ce qui peut modifier les conclusions des études comparatives (Dreyer et *al.*, 2003 ; Pant et *al.*, 2004). Cet aspect conduit à l'exclusion de certaines catégories d'impacts des évaluations dans des études d'ACV (Laurent et *al.*, 2014).

Concernant la méthode IMPACT 2002+, l'évaluation des dommages liés aux processus présente plus d'incertitudes. En effet, une partie de l'information est perdue lors du regroupement des problèmes, on peut quantifier les dommages d'une catégorie sans déterminer quel problème en est le responsable majeur. On perd donc en précision.

3.6.4. Regroupement des processus

Les deux ACV sont, dans un premier temps, analysées et comparées via l'étude des problèmes (Mid-Point) et l'étude des dommages (End-point) de l'ensemble des processus. Ensuite, pour chacune des deux ACV, les processus sont séparés par quatre étapes principales du « berceau au tombeau », soit la phase de construction, d'utilisation, d'entretien et de fin de vie. Ces regroupements permettent de comparer chacune des phases pour les deux ACV.

3.6.5. Résultats bruts

Dans un premier temps, les résultats relatifs comparatifs des problèmes des deux ACV sont présentés dans la Figure 21 ci-après :

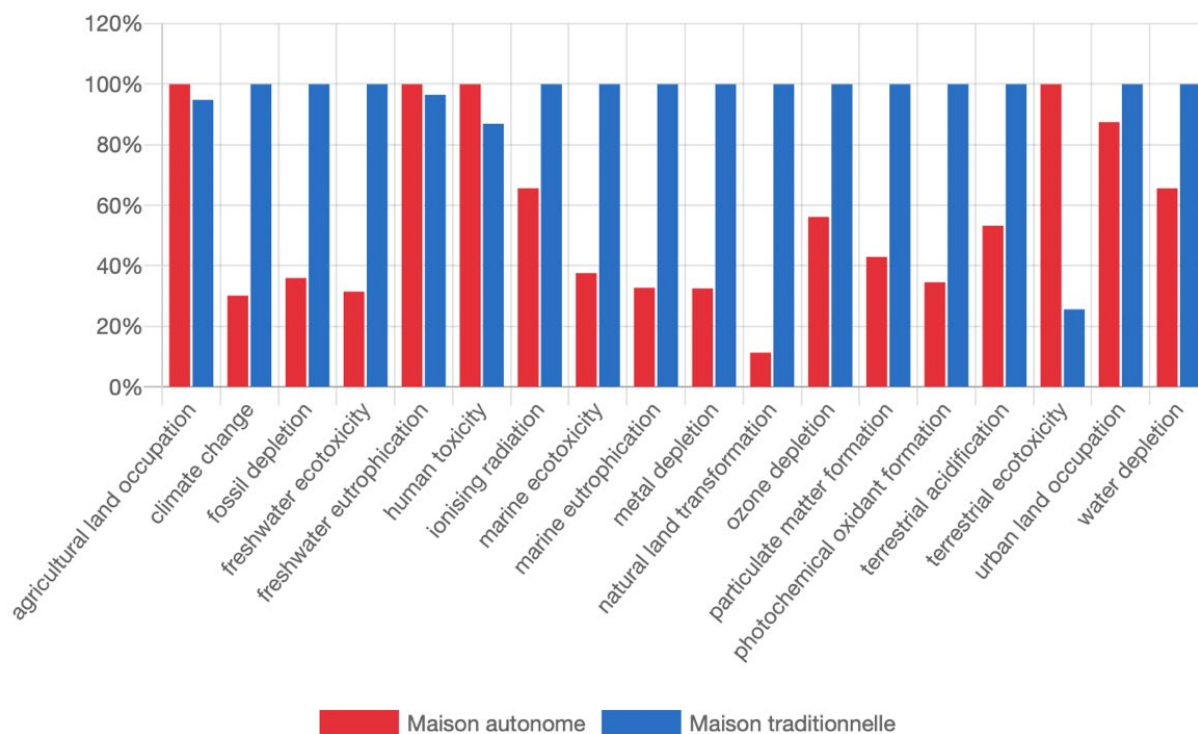


Figure 3.5 Résultats de la comparaison des problèmes des deux structures (Mid-Point)

Au niveau des problèmes, la maison autonome cause un peu moins de problèmes environnementaux que la maison conventionnelle pour tous les types de problèmes, sauf l'écotoxicité terrestre qui est supérieure pour la maison autonome. Cependant, 9 catégories présentent plus de 50% dont cinq catégories qui dépassent 80 % des impacts pour la maison autonome.

Ensuite, la Figure suivante présente les résultats relatifs de l'étude d'impact comparative des dommages de chacune des ACV

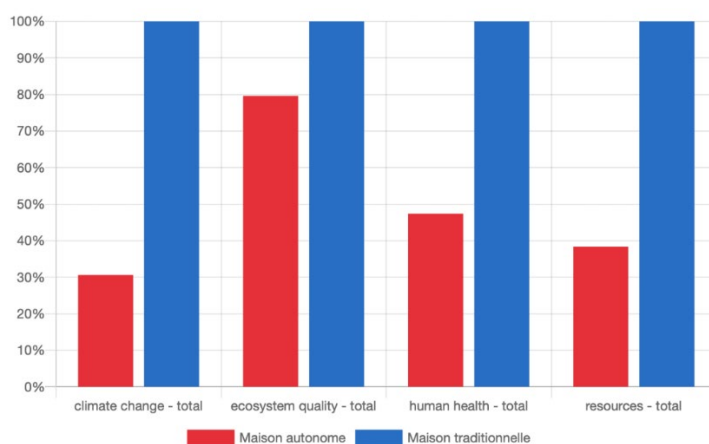
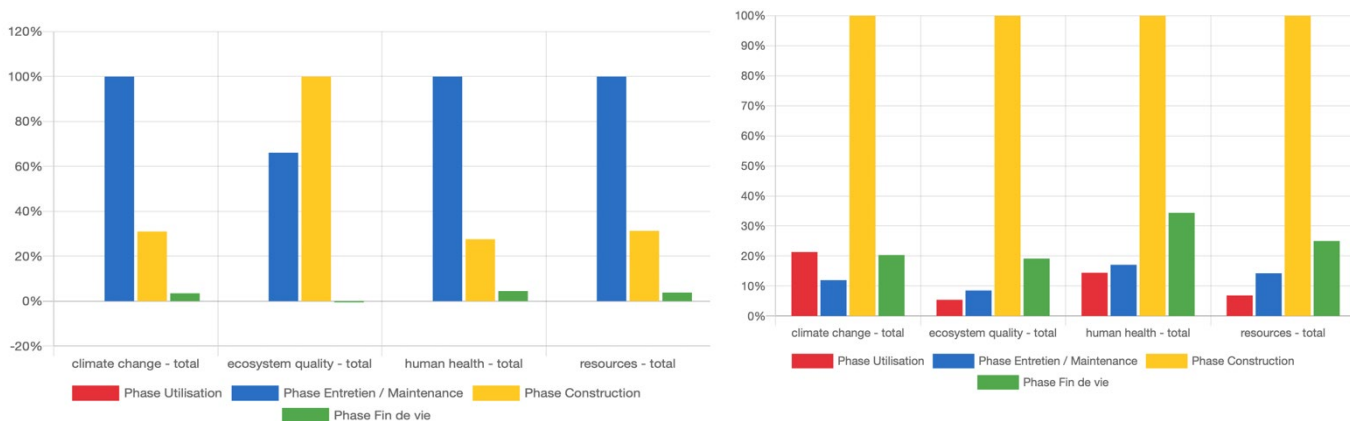


Figure 3.6 Résultats de la comparaison des dommages des deux structures (End-Point)

La maison autonome semble générer moins de dommage que la maison traditionnelle, dont les écarts de dommages varient entre 20 et 70 % suivant les catégories d'impacts. On remarque cependant un fort pourcentage pour la qualité des écosystèmes (80%).

La Figure 23 montre les résultats relatifs de la comparaison des quatre phases du cycle de vie considéré.



Maison autonome

Maison traditionnelle

Figure 3.7 Étude des dommages (End-point)

Dans le cas des dommages présentés à la figure xx a) ci-dessus, relative à la maison autonome, la phase entretien / maintenance présente un impact important sur les catégories d'impacts suivants : *Changement climatique, Santé humaine et Ressources*. Cependant, pour la catégorie d'impact *Qualité des écosystèmes*, La phase la plus impactante est celle de construction. De plus, on remarque que l'étape d'utilisation ne présente pas de dommages pour l'ensemble des catégories d'impact.

Dans le cas des dommages, présentés à la figure 23 b), ci-dessus, relative à la maison traditionnelle, l'étape de construction présente un impact important pour l'ensemble des catégories d'impact, à savoir pour les catégories *Changement climatique, Qualité des écosystèmes, Santé humaine et Ressources*.

4. INTERPRÉTATION

Maintenant que les résultats sont connus grâce aux évaluations réalisées dans le précédent chapitre, leur analyse et leur interprétation sont nécessaires afin d'émettre des conclusions et des recommandations concluantes. Une analyse de contribution des phases et des composantes des deux systèmes aux quatre catégories d'impacts dommages est établie ainsi que leur interprétation.

4.1. Analyse de contribution

Pour pousser l'analyse plus loin, il est possible de désigner quelle phase cause le plus de dommage ainsi que le processus le plus impactant selon les catégories de dommages pour les deux systèmes à l'étude. Les Tableaux 3 et 4 ci-dessous en montrent les résultats.

Tableau 4.1 Analyse de contribution de chacune des phases du cycle de vie de la maison autonome aux quatre catégories d'impacts de dommages.

Catégories de dommages	Étape du cycle de vie	%	Processus
Santé humaine	Entretien / Maintenance	75,72 %	Photovoltaic Slanted-Roof Installation, 3kwp, Multi-Si, Panel
Qualité des écosystèmes	Construction	60,41 %	Glued Laminated Timber Production
Changement climatique	Entretien / Maintenance	74,35 %	Photovoltaic Slanted-Roof Installation, 3kwp, Multi-Si, Panel
Ressources	Entretien / Maintenance	74,00 %	Photovoltaic Slanted-Roof Installation, 3kwp, Multi-Si, Panel

Tableau 2.2 Analyse de contribution de chacune des phases du cycle de vie de la maison traditionnelle aux quatre catégories d'impacts de dommages.

Catégories de dommages	Étape du cycle de vie	%	Processus
Santé humaine	Construction	66,79 %	Concrete Production 25mpa, RNA Only
Qualité des écosystèmes	Construction	84,26 %	Concrete Production 25mpa, RNA Only
Changement climatique	Construction	68,97 %	Concrete Production 25mpa, RNA Only
Ressources	Construction	74,43 %	Concrete Production 25mpa, RNA Only

4.2. Interprétation

On observe une différence évidente (plus de 60%) des dommages au niveau de la phase d'entretien / maintenance, avec une contribution 39,9 à 75,7 % des dommages sur l'environnement pour la maison autonome contre 7,2 à 14,7 % des dommages pour la maison traditionnelle.

En effet, la phase d'entretien / maintenance de la maison autonome est plus impactante pour l'ensemble des dommages sauf pour la qualité des écosystèmes. Ce résultat s'explique par le fait que la maison utilise un système auxiliaire de panneaux solaires photovoltaïques, constitués de 36 unités, dont l'énergie grise ou quantité d'énergie pour produire une unité est considérable par rapport aux autres matériaux utilisés. Les panneaux photovoltaïques génèrent également un impact négatif dû à l'extraction des matières qui les constituent. De plus, avec une durée de vie de 20 ans, le système nécessite d'être remplacé trois fois au cours du cycle de vie de la maison autonome, soit l'ajout de 108 panneaux solaires photovoltaïques. A contrario, la maison traditionnelle utilise l'énergie provenant du réseau HydroQuébec, qui ne nécessite aucuns dispositifs supplémentaires ou système auxiliaire d'énergie, ce qui entraîne moins d'impacts lors de la phase entretien maintenance.

La différence s'explique également par l'utilisation de fenêtre à triple vitrage pour la maison autonome, dont la performance thermique est plus élevée que celui d'un double vitrage que l'on retrouve dans la maison traditionnelle. Ces fenêtres plus performantes sont également plus lourdes et demandent plus de matériaux, d'où une plus forte contribution environnementale pour leur production et remplacement.

Enfin, au niveau des toitures, 95 % des toitures sont composées de bardeaux d'asphalte au Québec, dont la durée de vie est de 20 ans, contre une durée de vie de 60ans pour les toitures métalliques. La maison traditionnelle génère plus de déchets liés à la toiture sur le long terme. Ensuite, une différence s'observe également au niveau de la phase de construction.

Pour la maison traditionnelle, la phase de construction occupe une place importante dans la répartition globale des dommages. C'est la phase la plus dommageable considérant l'ensemble des phases du cycle de son cycle de vie pour les quatre catégories. Ce résultat s'explique par le fait que la maison traditionnelle nécessite plus de matériaux lors de sa construction, mais également par le fait qu'elle utilise des matériaux à plus grande empreinte environnementale, spécifiquement au niveau de ses fondations.

Les fondations représentent plus de 39,9 à 63,6 % des dommages environnementaux pour la phase de construction de la maison traditionnelle pour toutes les catégories de dommages, contre 2 à 8 % pour la maison autonome. Une différence évidente concernant les valeurs liées aux fondations entre les deux structures s'explique par le type de fondation choisi, la quantité ainsi que le choix des matériaux effectués, notamment en ce qui concerne le béton. En effet, le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde avec de nombreux impacts environnementaux, notamment au niveau des émissions de GES : une tonne de matériau produit 80 kg d'émissions de GES dans l'atmosphère pour chaque tonne de ciment produit (Ecohabitationa, 2012a).

Une différence s'observe également au niveau de la phase de construction. En effet, pour la maison traditionnelle, la phase de construction occupe une place importante dans la répartition globale des

dommages. C'est la phase la plus dommageable considérant l'ensemble des phases du cycle de son cycle de vie. Ce résultat s'explique par le fait que la maison traditionnelle nécessite plus de matériaux lors de sa construction, mais également par le fait qu'elle utilise des matériaux à plus grande empreinte environnementale, spécifiquement au niveau de ses fondations.

Les fondations représentent plus de 39,9 à 63,6 % des dommages environnementaux pour la phase de construction de la maison traditionnelle pour toutes les catégories de dommages, contre 2 à 8 % pour la maison autonome. Une différence évidente concernant les valeurs liées aux fondations entre les deux structures s'explique par le type de fondation choisie (quantité et choix des matériaux), notamment en ce qui concerne le béton. En effet, le béton est le matériau de construction le plus utilisé au monde avec de nombreux impacts environnementaux, notamment au niveau des émissions de GES : une tonne de matériau produit 80 kg d'émissions de GES dans l'atmosphère pour chaque tonne de ciment produit (Ecohabitationa, 2012a).

Le béton représente 23 à 33 % des dommages sur l'environnement pour la maison traditionnelle, contre 2,3 à 6,7 % des dommages sur l'environnement pour la maison autonome. Cet écart s'explique dans un premier temps par le type de béton utilisé. La maison autonome utilise un béton écologique, appelé béton ternaire ou béton à contenu recyclé, nettement moins impactant sur l'environnement que le béton conventionnel. Ce béton utilise jusqu'à 80 % d'ajouts cimentaires (pouzzolanes naturelles et cendres volantes) pour remplacer le ciment Portland conventionnel, élément constitutif du béton à 11%. Dans cette étude, le béton ternaire utilise 35 à 55% d'ajouts cimentaires, ce qui permet une baisse significative des impacts sur l'environnement en plus d'avoir meilleure résistance. L'utilisation de béton ternaire à 30% d'ajouts cimentaires permettrait une diminution de plus de 10 tonnes de GES par maison (Belvedaire, 2020 ; Ecohabitation, 2012b).

Cet écart s'explique également par le type de fondation choisi. La maison autonome utilise une fondation de type dalle sur sol, plus économique, écologique et confortable que la construction d'une fondation classique avec sous-sol de la maison traditionnelle. La dalle prend alors à la fois le rôle de mur de fondation et de semelle et convient aux à tout type de terrain, sauf à ceux en pente (Bolduc, B., 2009).

De même que pour la maison traditionnelle, la phase de construction de la maison autonome est la phase la plus dommageable sur la qualité des écosystèmes, notamment sur les ressources de bois résineux.

Une différence notable s'observe également au niveau de la phase d'utilisation entre les deux structures, avec aucun dommage pour la maison autonome et 4,5 à 14,7 % des dommages pour la maison traditionnelle. La phase d'utilisation comprend la consommation d'électricité, la consommation d'eau et de nourriture tout au long du cycle de vie des structures.

Pour la maison autonome, la phase d'utilisation ne présente aucun dommage sur l'environnement, car la consommation d'énergie se fait via le soleil, par le système passif et l'autoproduction d'énergie via des panneaux solaires photovoltaïques. La production d'énergie solaire est intermittente cependant. Or, nous avons fait l'hypothèse que la maison n'utilise pas de dispositifs de stockage, qui présentent de forts impacts environnementaux. L'option choisie est d'être relié au réseau d'Hydro-Québec en cas de

nécessité. Cependant, la production d'électricité au Québec étant d'origine renouvelable à 99,8 %, les impacts seraient négligeables (Régie de l'énergie du Canada, 2017). Pour la consommation d'eau, l'eau de pluie et la neige sont récoltées dans une citerne de 20 000 litres après filtration et enfouie sous terre. L'eau y est récupérée et recyclée de 3 à 5 fois selon le système de recyclage des eaux grises. De plus, des installations de faible consommation telles que des toilettes à chasse d'eau siphoniques, systèmes à faible débit, etc. permettent de réduire la consommation en eau (Bolduc et Duchaine, 2018 ; Desrosiers et Tosser, 2014). Enfin, la production de nourriture s'effectue sur place via une serre quatre saisons, ce qui réduit les impacts liés aux transports des fruits et légumes. Cependant, l'autosuffisance à 100 % est actuellement difficile à avoir pour obtenir des produits diversifiés. L'autonomie en nourriture se présente actuellement comme le plus grand défi dans une maison autonome, c'est pourquoi nous ne le prendrons pas en compte dans cette étude.

Cette distinction s'explique également par le mode de vie plus écologique des ménages et les habitudes de consommation des ménages d'un point de vue énergétique et au niveau de la consommation d'eau (Gouvernement Canada, 2019). Point qui n'est pas étudié dans cette étude, mais que l'on retrouve dans plusieurs études. En effet, la maison autonome est un type d'habitation qui implique un mode de vie axé sur plus de simplicité volontaire ainsi que sur un idéal écologique, mode de vie qui se reflète dans les consommations (SolutionEra, 2020b).

En ce qui concerne la consommation énergétique de la maison autonome, elle est fixée à 9856 kWh par an. Cette consommation moindre s'explique par un mode de vie plus sobre des ménages, la mise en place d'équipement moins énergivore, l'installation des panneaux solaires photovoltaïques, ainsi que la mise en place de concepts afin d'augmenter l'efficacité énergétique et éviter les pertes de chaleur. La conception solaire passive a été en premier lieu priorisée pour la conservation en énergie, en mettant l'accent sur la qualité de l'isolation de l'enveloppe. Une isolation en cellulose fabriquée à partir de papier recyclé serait 30% plus efficace que l'isolation conventionnelle en fibre de verre, grâce à sa densité et sa compaction. Elle possède alors une énergie grise plus faible que la fibre de verre et améliore la performance énergétique de l'habitation (Belvedair, 2020 ; Ecohabitation, 2012e). De plus, des fenêtres à triples vitrages à faible émissivité couvrants ont été installées sur la façade au sud. Pour la consommation en eau, la récupération et l'entreposage de l'eau, son recyclage et l'utilisation d'installation à faible débit amènent à une consommation de 120 litres par jour pour l'habitation soit 43 800 litres par an. Ce chiffre se base sur l'étude d'une maison autonome conçue en 1992 par Martin Liefhebber (Bolduc et Duchaine, 2018).

Enfin, les différences concernant la phase fin de vie entre les deux structures s'expliquent par la gestion des résidus du secteur de la construction, de la rénovation et de la démolition (CRD), notamment le tri à la source, ce qui facilite leur valorisation. Environ 70 % des CRD sont acheminés vers les centres de tri dont 53 % sont valorisés. La répartition des résidus CRD est présentée à la Figure 24 (Recyc-Québec, 2018).

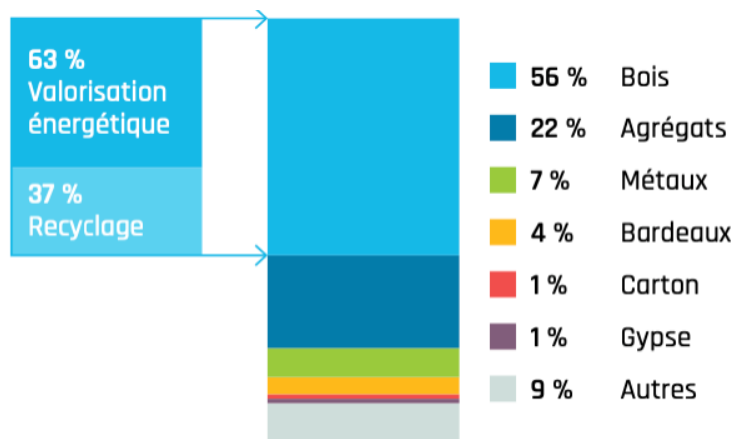


Figure 4.1 Répartition des matières acheminées au recyclage et à la valorisation énergétique (Tirée de : Recyc-Québec, 2018)

Généralement, les résidus résultant des chantiers de construction, de rénovation et de démolition ne sont pas triés sur site et génèrent des matières mélangées, dont certaines ne pourront pas être valorisées (MELCC, sd). En effet, le gypse se retrouve généralement à l'enfouissement malgré qu'il soit recyclable à 100 % (Ecohabitation, 2011 ; Recyc-Québec, 2018).

Ainsi, pour la maison autonome, le tri à la source permet une plus grande valorisation des matériaux, dont les débouchés sont énoncés dans la figure suivante. De plus, l'utilisation de matériaux recyclables diminue les impacts liés à la fin de vie de ces matériaux. On peut citer la toiture métallique de la maison autonome qui est constituée de matériaux 100% recyclables en fin de vie et nécessite aucun entretien, contrairement à la toiture d'asphalte de la maison traditionnelle (Lecomte, C. et Walter, E., 2012). On peut également citer le revêtement en cèdre blanc pour la maison autonome, dont le taux de valorisation est supérieur à celui de la brique, matériau utilisé pour le revêtement mural de la maison traditionnelle.

5. LIMITES ET ANALYSE DE DURABILITÉ

Les analyses et interprétations étant faites, il s'agit à présent de déterminer les limites de l'étude et d'analyser les résultats finaux combinés à une analyse de durabilité afin de déterminer la pertinence d'une maison autonome au Québec via une grille d'analyse.

5.1. Limites

L'ACV est un outil de plus en plus répandu et très fiable dépendamment des ressources utilisées. Toutefois, elle a ses limites. D'abord, cette étude comporte plusieurs hypothèses quant à la provenance des matériaux, les distances parcourues, etc. De plus, le marché est dynamique, il est donc difficile d'avoir des résultats absolus et indiscutables. Toutefois, pour améliorer la justesse des résultats, il serait pertinent de contacter l'ensemble des fournisseurs de chaque élément des deux types d'habitation, afin d'obtenir leur provenance exacte et donc de s'assurer de la validité de chacun des résultats. Cette procédure nécessiterait beaucoup de ressources et de temps, mais il démontrerait la fiabilité des résultats lors de l'analyse. Cette analyse de cycle de vie comparative a été faite d'un point de vue environnemental.

5.2. Analyse de durabilité

Cette section a pour but d'évaluer les performances de durabilité des structures à l'étude via une grille d'analyse. Une fois la notion de durabilité définie et les indicateurs déclinés sous forme de critères, il est nécessaire de trouver des indicateurs qualitatifs et quantitatifs.

Concept de durabilité

On peut définir la durabilité comme étant une mesure de performance de la capacité de maintenir l'intégrité de l'environnement et viser l'efficacité économique, tout en visant à assurer l'équité sociale (MELCC, 2020).

Afin d'analyser la durabilité des deux structures à l'étude et dans l'optique de déterminer laquelle des deux est plus durable, des indicateurs sont utilisés pour permettre de mesurer l'impact des structures en fonction de facteurs d'intensité des impacts selon les dimensions environnementale, économique et sociale du développement durable. L'analyse est donc une analyse multicritère. Le facteur de durée n'est pas considéré pour cette analyse, car la durée de vie est similaire pour les deux structures. Concernant les facteurs d'intensité, cela se rapporte à une comparaison de performance entre les deux structures en prenant la structure conventionnelle comme référence. En effet la structure conventionnelle réfère à l'habitation unifamiliale traditionnelle québécoise, elle est donc pourvue des valeurs moyennes retrouvées au Québec. Ainsi, la structure avec les meilleures performances sera qualifiée de plus durable.

5.2.1. Choix des indicateurs

Le choix des indicateurs s'est effectué selon des indicateurs relatifs aux bâtiments résidentiels et des indicateurs relatifs au développement durable via des outils d'analyse fiables et reconnus par le milieu.

La sélection de ces indicateurs s'est effectuée en plusieurs étapes. Dans un premier temps, une revue de littérature a été faite afin de déceler des indicateurs potentiels en vue d'une analyse pouvant allier à

la fois les bâtiments résidentiels et le développement durable. Puis, il a été question de choisir les indicateurs les plus appropriés pour le sujet d'étude. En effet, seuls les indicateurs pertinents par rapport à l'essai et l'analyse de cycle de vie effectuée précédemment seront choisis pour évaluer la performance de durabilité des deux habitations.

Il est important de souligner que seuls des indicateurs adéquats pour l'essai ont été sélectionnés pour la grille d'analyse, étant donné que les indicateurs proposés dans les deux outils ne sont pas exclusifs aux bâtiments, les indicateurs ont donc été sélectionnés via leur pertinence, leur fiabilité et leur compréhensibilité. Il est important également de souligner que cette analyse de durabilité a été inspirée d'un précédent essai datant de 2015 (Robitaille Odier), pour sa pertinence et l'utilisation d'outils judicieux afin de comparer les deux structures.

Indicateurs relatifs aux bâtiments résidentiels

L'outil d'analyse sélectionné est basé sur des normes, afin d'éviter l'effet de. De plus, ces dernières sont construites à partir de processus d'élaboration rigoureux et consensuels et reconnues dans le milieu.

Trois normes AFNOR (Association Française de Normalisation) ont été sélectionnées, permettant d'évaluer la performance des bâtiments sur les dimensions sociale, environnementale et économique via des méthodes de calculs. Ces normes intègrent une approche cycle de vie des bâtiments, ce qui permet d'inclure les résultats des analyses de cycle de vie réalisée lors de cette présente étude à travers les indicateurs quantitatifs de l'outil d'analyse en provenance de ces normes. Ainsi, les indicateurs des normes AFNOR NF EN 16309 +A1 Évaluation de la performance sociale des bâtiments - Méthode de calcul, NF EN 15978 Évaluation de la performance environnementale des bâtiments - Méthode de calcul et PR NF EN 16627 Évaluation de la performance économique des bâtiments - Méthode de calcul ont été retenus et récupérés d'un essai réalisé ultérieurement pour la sélection des indicateurs de l'outil d'analyse (Robitaille, 2015). La liste complète est présentée en ANNEXE 2

Indicateurs relatifs au développement durable

Concernant les indicateurs qualitatifs relatifs au développement durable, la grille d'analyse de développement durable de la chaire en éco-conseil de l'Université du Québec à Chicoutimi datant de 2017 (Villeneuve et al, 2016). Cet outil a été sélectionné pour approche holistique, son référencement dans l'Encyclopédie du développement durable et son utilisation dans divers projets et programmes québécois et internationaux. Cette grille d'analyse permet de faire une évaluation multicritère selon six dimensions (sociale, écologique, économique, culturelle, éthique et gouvernance). Cependant, seulement trois dimensions seront utilisées pour cette étude, soit les dimensions sociales, écologiques et économiques. La liste complète est présentée en ANNEXE 3.

Ainsi, les indicateurs sélectionnés en fonction des dimensions choisis sont combinés afin de donner les indicateurs suivants :

Tableau 3.1 Catégorie d'indicateurs sélectionnés

Indicateurs dimension écologique
Préservation des écosystèmes et de la biodiversité
Utilisation des ressources
Extrants
Impacts environnementaux
Usage du territoire
Indicateurs dimension sociale
Adaptabilité
Santé et confort
Établissements humains
Indicateurs dimension économique
Production et consommation responsables
Viabilité économique

Tableau 5.2 Indicateurs et critères sélectionnés

Indicateurs / Critères	Grille UQAC	Normes AFNOR	ACV
Dimension écologique			
Préservation des écosystèmes et de la biodiversité			
<i>Favoriser la protection de la biodiversité</i>	x		
<i>Préserver les écosystèmes continentaux et marins</i>	x		
<i>Limiter la dégradation biologique, chimique et physique des sols</i>	x	x	
Utilisation des ressources			
<i>Ressources énergétiques</i>			
<i>Quantité d'énergie provenant de l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et de la biomasse</i>	x	x	
<i>Ressources matières</i>			
<i>Faire le choix des ressources de moindre impact</i>	x	x	
Extrants			
<i>Minimiser les impacts</i>	x	x	
<i>Valorisation des déchets</i>	x	x	
Impacts environnementaux			
<i>Prévoir des mesures d'adaptation à la nouvelle donne climatique</i>	x		
<i>Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique</i>		x	x
<i>Potentiel d'acidification des sols et de l'eau</i>		x	x
<i>Potentiel d'eutrophisation</i>		x	x
<i>Potentiel d'épuisement pour les ressources</i>		x	x
<i>Potentiel de transformation de terres naturelles</i>			x
<i>Potentiel occupation des terres agricoles</i>			x
<i>Potentiel toxicité humaine</i>			x
<i>Potentiel d'écotoxicité terrestre</i>			x
<i>Potentiel d'écotoxicité marine</i>			x
<i>Potentiel de réchauffement global</i>		x	x
<i>Augmenter les puits de carbones</i>	x		
<i>Réduire les émissions des GES</i>	x		
Usage du territoire			
<i>Maintenir la diversité des paysages</i>	x		
Dimension sociale			
Adaptabilité			
<i>Adaptabilité du bâtiment à répondre aux exigences de chaque utilisateur</i>		x	
<i>Aptitude du bâtiment à répondre aux changements climatiques</i>	x	x	
<i>Aptitude du bâtiment à répondre aux changements techniques</i>		x	
Santé et confort			
<i>Améliorer et maintenir l'état de santé des occupants</i>	x	x	
<i>Structure assurant une bonne qualité de l'air intérieur du bâtiment</i>		x	
<i>Structure du bâtiment favorisant une bonne isolation thermique</i>		x	
<i>Structure du bâtiment favorisant une bonne isolation acoustique</i>		x	
<i>Réduire les nuisances</i>	x	x	
Établissements humains			
<i>Favoriser la mobilité durable</i>	x		
<i>Aménager des infrastructures durables</i>	x		
<i>Promouvoir des villes et des établissements humains durables</i>	x		
Dimension économique			
Production et consommation responsables			
<i>Produire des biens et services de qualité</i>	x		
<i>Favoriser l'écoconception dans une perspective cycle de vie</i>	x		
<i>Favoriser l'achat et la consommation responsables</i>	x		
<i>Appliquer la responsabilité élargie des producteurs</i>	x		
<i>Favoriser l'investissement responsable</i>	x		
Viabilité économique			
<i>Consommation eau et énergie</i>		x	
<i>S'assurer de la viabilité économique</i>	x		

5.2.2. Système d'évaluation

Il est question d'élaborer une grille d'analyse permettant d'évaluer et comparer les performances en termes de durabilité des deux structures. La performance réfère au résultat obtenu par les structures via les indicateurs sélectionnés. La durabilité est quant à elle reliée au concept du développement durable. Ainsi, la performance de durabilité relève des résultats de pointage d'une structure en considérant les trois principes du développement durable. Ainsi, l'analyse est une analyse multicritère,

dont les différents critères découlent des indicateurs sélectionnés précédemment. Ces derniers étant qualitatifs et quantitatifs, il est nécessaire de les ramener à une même échelle afin de les évaluer et les comparer, via une échelle de performance.

L'échelle d'importance se fait de -3 à 3, ce qui permet un bon degré de précision dans les niveaux d'importance. (Voir Tableau 7)

Tableau 5.3 Échelle de performance

Pointage	Niveau de performance
3	Nettement supérieur
2	Moyennement supérieur
1	Légèrement supérieur
0	Neutre
-1	Légèrement inférieur
-2	Moyennement inférieur
-3	Nettement inférieur

Pour les indicateurs quantitatifs, les résultats obtenus des analyses de cycle de vie effectuées précédemment concernant l'habitation autonome sont comparés à ceux de l'habitation conventionnelle/traditionnelle, qui servent de référence pour l'échelle ci-dessus. Les valeurs concernant l'habitation seront considérées comme neutres et les quantités relatives à la structure autonome seront comparées en fonction de ces dernières.

L'attribution d'une valeur à chacun des critères fait également partie du système d'évaluation, afin de permettre une comparaison entre le critère en fonction de leur considération. Cette pondération est subjective dans l'évaluation des critères. Cette pondération s'effectue de 1 à 3, dont les justifications sont présentées dans le Tableau 8 :

Tableau 5.4 Pondération des critères

Pointage	Valeur du critère
1	Critère souhaitable
2	Critère nécessaire
3	Critère important / indispensable

Les performances de durabilité de l'habitation autonome seront comparées avec celles de la maison traditionnelle et le score obtenu déterminera la structure la plus durable.

En effet, un score positif traduit une meilleure durabilité pour l'habitation autonome. Cependant, un score négatif attribuera une meilleure durabilité pour l'habitation traditionnelle/conventionnelle.

5.2.3. Résultats

Le score obtenu via la grille d'analyse présentée en ANNEXE 4 est positif, ce qui confirme les résultats obtenus lors de l'analyse de cycle de vie effectuée au chapitre 3 du présent essai. Ainsi, la structure autonome est définie comme étant la plus durable. Les points clés sont les suivants :

- La prévention de mesures d'adaptation à la nouvelle donne climatique
- L'isolation thermique
- L'amélioration et le maintien de l'état de santé du bâtiment
- La qualité de l'air intérieur
- La viabilité économique
- La consommation responsable
- La consommation en eau et en électricité
- La minimisation des impacts
- Les ressources à moindre impact
- La préservation des écosystèmes et de la biodiversité
- La réduction des nuisances

La structure autonome obtient un meilleur résultat en ce qui concerne la prévention et la limitation des impacts négatifs des extrants relâchés en nature, la résilience de la structure, la majorité des impacts environnementaux et les dépenses liées aux consommations. Cependant, elle présente de moins bons résultats concernant le potentiel de toxicité humaine, le potentiel d'écotoxicité terrestre et le potentiel d'occupation des terres agricoles.

6. RECOMMANDATIONS ET PRISE DE POSITION

À la lumière des résultats obtenus via les différentes analyses, cette section propose des recommandations, notamment des axes d'amélioration liés à la durabilité des maisons traditionnelles, mais également des suggestions reliées aux maisons autonomes et leurs dispositifs. Enfin, des idées sont apportées afin de bonifier la présente étude.

6.1. Axes d'amélioration liés à la durabilité des maisons traditionnelles

Des améliorations peuvent être apportées au niveau de la structure de l'habitation, mais également au niveau de nos habitudes nos choix.

6.1.1. Réduire la superficie d'habitation

À l'heure actuelle, la réduction de la superficie des habitations ne constitue pas un enjeu social au Québec, car celui-ci bénéficie de vastes espaces habitables pour une population relativement faible. De plus, culturellement, il apparaît marginal de vivre dans des petits espaces, à l'opposé de régions plus densément peuplées telles que la région parisienne ou dans des métropoles par exemple. Or, une réduction de la superficie amènerait à des avantages non négligeables au niveau des individus, des collectivités ou d'un territoire donné, et ce, d'un point de vue environnemental, économique et social. Il est donc question d'évaluer ses besoins individuels réels en termes d'espace.

6.1.2. Réduire sa consommation d'énergie

L'utilisation de concept passif permet de réduire significativement la consommation d'énergie liée au chauffage, ce qui amène à des gains autant environnementaux qu'économiques et sociaux pour les ménages et la société.

L'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment via une meilleure isolation et étanchéité du bâtiment, ainsi que l'acquisition d'appareils moins énergivores permettraient également une réduction significative de la consommation d'énergie. De même, les gestes écoresponsables ont autant d'impacts sur les réductions de la consommation énergétique et économique associée, via une consommation individuelle responsable.

6.1.3. Réduire sa consommation d'eau

Le Québec utilise excessivement les ressources en eau, car il privilégie d'une vaste réserve en eau avec 3 % d'eau douce renouvelable du monde entier. L'abondance de cette ressource positionne l'eau comme une valeur inestimable pour les Québécois, de même qu'une ressource fragile pour le reste du monde.

Il pourrait donc être bénéfique de se questionner sur les besoins individuels réels ainsi qu'installer des économiseurs d'eau dans les salles de bain et cuisines, telles que des aérateurs à faible débit pour les robinets, des toilettes à double chasse ou des toilettes sèches. Ces dispositifs réduiraient la consommation des ménages jusqu'à 30% et l'intégration de toilettes à compost amènerait à sauver 100 000 litres d'eau potable par année (Belvedair, 2020). Les gestes écoresponsables sont aussi des sources de diminution de consommation, comme la récupération d'eau de pluie pour l'arrosage de

plante, la diminution de la durée de la douche, ou le fait de ne pas faire couler de l'eau inutilement lors de son utilisation.

6.1.4. Privilégier des matériaux écologiques

Il a été observé précédemment que les principaux impacts liés au cycle de vie d'un bâtiment résidentiel au Québec découlent principalement des matériaux utilisés.

L'utilisation de matériaux écologiques et efficaces permet globalement une réduction d'impacts sur l'environnement et des économies monétaires. Elle permet aussi de mobiliser des ressources locales, favorisant ainsi une économie circulaire. Cependant, leur production peut amener à une plus grande demande en énergie et peut être plus émettrice que celle des matériaux de construction traditionnels. Il est donc important d'analyser les caractéristiques et impacts des matériaux à incorporer dans les structures. Enfin, l'utilisation de produits sains et naturels contribue à la santé des habitants dont l'utilisation évite par exemple la propagation de composés organiques volatils néfastes pour les voies respiratoires.

6.1.5. Privilégier l'achat et la production locale

L'autonomie alimentaire est un concept de plus en plus populaire, afin de viser une certaine indépendance aux grandes surfaces et aux denrées de l'étranger et les impacts environnementaux associés. Cela permettrait également de se protéger des conséquences économiques telles que l'augmentation des prix des denrées liées à une pénurie ou crise comme le COVID 19. Cependant, il est nécessaire de revoir ses habitudes de consommation et manger de saison et local.

Le Premier ministre québécois a lancé plusieurs appels à une plus grande autonomie alimentaire au Québec, il faudrait cependant repenser l'agriculture en passant d'un objectif de quantité à un objectif de qualité des produits afin d'atteindre une résilience collective, avec un modèle agriculture cohérent, de même que des programmes gouvernementaux d'encadrement.

À ce jour, une autonomie alimentaire totale est encore un grand défi à ce jour à l'échelle individuelle, cependant une autonomie partielle est malgré tout favorable d'un point de vue environnemental, économique et social (au niveau de la santé et de la compréhension de la nature). Il serait également judicieux de se lancer dans l'achat de produits locaux, de cuisiner en saison et de se tourner vers une autonomie collective, décisions plus réalistes à court terme. En effet, l'achat local favorise les producteurs et artisans locaux, et permet une réduction significative des impacts environnementaux liés aux transports. Les jardins collectifs sont de plus en plus populaires et démontrent leurs efficacités.

6.2. Suggestions reliées aux maisons autonomes

En prenant en compte le contexte québécois et des résultats obtenus, des recommandations peuvent être formulées pour optimiser la conception tout en disposant de gains environnementaux et économiques.

6.2.1. Autonomie énergétique

Comme nous l'avons décrit précédemment, sur le plan énergétique, le Québec tire son énergie de ressources renouvelables dont la majeure partie provient de l'hydroélectricité. Les dispositifs ou

systèmes auxiliaires d'alimentation en énergie peuvent être utilisés afin d'atteindre une autonomie totale en énergie. Ils génèrent cependant des impacts négatifs lors de l'extraction des matières premières qui les constituent, que cela soit pour les éoliennes ou pour les panneaux solaires photovoltaïques. Il serait pertinent d'utiliser l'énergie québécoise qui est une énergie verte avec peu d'impacts et se concentrer sur les matériaux, tout en pensant à la possibilité d'installer des systèmes auxiliaires ultérieurement en cas de besoin. Il serait alors préférable de se lancer dans un mode d'habitation solaire passif plutôt qu'une habitation à 100% autonome, vu les ressources renouvelables du pays.

6.2.2. Autonomie en eau

L'autonomie en eau permet un contrôle sur la qualité de l'eau et offre un bon degré d'autonomie. Cependant, lors de grandes canicules et sécheresse, il serait salubre de continuer l'accès à l'eau. Il serait donc pertinent de s'orienter vers un système mixte d'approvisionnement d'eau, à savoir la récupération d'eau de pluie en plus d'être connecté à l'aqueduc municipal ou un puit artésien. Cette résilience partielle peut être bénéfique lorsque les systèmes ne sont plus suffisants ou tombent en panne.

6.2.3. Plan de conception

Le choix de certains matériaux exige un plan de conception peu complexe. En effet, la mode des toitures décoratives relativement complexes par leur grand nombre de noues - ligne de rencontre de deux pans de toiture présentant un angle rentrant - explique le faible taux de toiture métallique au Québec, malgré une bonne durabilité environnementale. Les matériaux métalliques permettent moins de flexibilité et impliquent plus de travail pour s'adapter à des structures complexes. La conception a donc une répercussion sur le choix des matériaux. Il est donc nécessaire de privilégier une conception simple pour l'utilisation de tôle écologique et durable, pour des questions de réalisation technique.

6.2.4. Viser l'autoconstruction

Dans une perspective écologique, autoconstruire sa propre maison permet une recherche approfondie au niveau des matériaux écologiques et locaux, afin de gagner en efficacité énergétique tout en réduisant les impacts environnementaux liés à ces derniers comme les transports ou l'extraction des matières premières. Cela permet aussi un meilleur contrôle des matières résiduelles lors des chantiers de construction, rénovation et démolition par une gestion bonifiée et donc une meilleure valorisation. Dans une perspective écologique, l'autoconstruction permet d'économiser sur la main-d'œuvre et éviter les frais supplémentaires liés aux entrepreneurs (frais d'honoraires). Ces économies peuvent permettre d'investir dans des matériaux plus écologiques ou des dispositifs plus performants. Enfin, d'un point de vue social, la valorisation de séminaires d'autoconstruction, le développement individuel et l'échange des connaissances, ainsi que la possibilité de concrétiser l'ensemble de ses attentes, amènent à une satisfaction et un enrichissement personnel.

6.2.5. Penser à long terme de façon stratégique

À l'heure actuelle, il n'y a pas de solutions idéales pour être parfaitement écologique. Il s'agit essentiellement de s'informer pour comprendre et évaluer les impacts à court, moyen et long terme dans les décisions de conceptions d'une structure résidentielle, que cela soit pour une construction ou

une rénovation écologique. Un design qui relève d'une vision à long terme tend à privilégier des investissements stratégiques, tels que l'achat de matériaux de meilleure qualité, qui soient plus durables ou plus performants. Ces investissements permettent ainsi de bénéficier d'économies monétaires et de gain de temps, tout en acquérant un impact plus viable sur l'environnement. Des formations en habitation écologique se donnent partout dans le monde. On peut citer les formulations de SolutionEra, où 20 experts partagent leurs connaissances en termes d'habitation écologique et encadrent les projets de développement ou rénovation écologique de bâtiment. Ainsi, les participants intègrent une communauté de plus de 3000 personnes, qui permet de concevoir leur plan de conception de façon stratégique et approfondie.

6.3. Amélioration à apporter à la présente étude

Dans cette dernière section, il est question d'énoncer des améliorations par rapport à la présente étude, afin de mieux l'approfondir.

6.3.1. Prendre en compte les équipements intérieurs

Dans cette présente étude, l'analyse de cycle de vie s'est portée sur les enveloppes des deux structures à comparer avec l'hypothèse que les équipements étant relativement similaires, ils n'ont pas été pris en compte dans la présente étude. Cependant, des équipements moins énergivores et leur provenance entraîneraient une différence au niveau des impacts. Il serait intéressant de prendre en considération la structure complète, que cela soit l'enveloppe extérieure et les équipements intérieurs afin d'améliorer l'exactitude de l'analyse et obtenir des conclusions plus significatives.

6.3.2. Réaliser une analyse économique de cycle de vie

En tenant compte du délai imparti pour la réalisation de cette étude, la partie analyse de cycle de vie comparative d'un point de vue économique n'a pas pu être réalisée. Le coût de cycle de vie se définit comme l'ensemble des coûts cumulés d'un produit tout au long de son cycle de vie, ce qui permet de décider d'un investissement en fonction de son impact économique. Cette analyse des coûts permettrait d'évaluer la rentabilité de la maison autonome comparativement à la maison traditionnelle et d'investir dans des solutions qui allieraient les performances économiques et environnementales tout projet de construction de maison résidentielle.

CONCLUSION

Le secteur du bâtiment est responsable d'une part conséquente du contexte du changement climatique actuel, dont les impacts sur l'environnement et sur la santé sont reconnus à l'échelle mondiale. La prise en compte de ce secteur économique dans les mesures de réduction des émissions de GES s'avère nécessaire et l'essor des bâtiments durables de plus en plus autonomes primordial. Toutefois, la situation énergétique et hydrique du Québec retarde le développement de maisons autonomes sur le territoire.

L'objectif principal de ce projet de recherche était d'évaluer les impacts environnementaux d'une maison autonome au Québec, afin d'identifier si de potentiels avantages pourraient en découler par rapport aux maisons traditionnelles. La réussite de cet objectif fait suite à la réalisation des objectifs spécifiques énoncés dans l'introduction. Le premier fut de s'intéresser aux consommations d'un ménage québécois moyen afin de cerner leurs besoins et attentes. Cette recherche a permis d'évaluer les impacts associés via l'analyse de cycle de vie lors de la phase d'exploitation de la structure traditionnelle. Il a été question par la suite d'étudier les caractéristiques et les enjeux des maisons autonomes au Québec, ce qui a révélé les avantages et les compensations en énergie, en eau et en chauffage qu'elles apportent et, ainsi, confirme leurs bénéfices actuels et futurs. Ensuite, il a été réalisé une analyse de cycle de vie comparative et une analyse de contribution des phases, qui consiste en l'analyse et la comparaison des impacts environnementaux des structures et de connaître les phases les plus dommageables. Cela a démontré que la sélection des matériaux influence particulièrement les impacts environnementaux des bâtiments dans un contexte où l'énergie est peu impactante. Ensuite, l'analyse complémentaire de durabilité via une grille d'analyse a confirmé les résultats obtenus et a affirmé la structure la plus durable dans une perspective environnementale, sociale et économique. Enfin, le dernier objectif consistait à émettre des recommandations dans un but d'amélioration des structures et pratiques dans le but de réduire les impacts environnementaux associés. Ainsi, les avantages liés au développement des maisons autonomes au Québec sont conséquents et se trouvent être un bon investissement malgré un profit économique présentement moins intéressant.

La pandémie actuelle du CoronaVirus et la crise économique associée ont confirmé notre grande dépendance aux systèmes externes et pays internationaux afin de satisfaire nos besoins essentiels. Il est fondamental de s'orienter vers des structures alternatives plus résilientes, notamment pour obtenir une certaine liberté, mais également afin d'assurer une sûreté face aux formes d'adversités, que ce soient des crises économiques, sanitaires, c'est ou des conditions climatiques extrêmes.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- Agence Internationale de l'énergie [EIA]. (2019). World Energy Outlook 2019. Repéré à <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>
- Amor, B. (2020). Notes de cours, GBA 435 - Bâtiments durable, 29 avril 2020.
- Asdrubali F, Baldassarri C, Fthenakis V. (2013). Life cycle analysis in the construction sector : Guiding the optimization of conventional Italian buildings. *Energy and Buildings*, 64, p. 73–89.
- Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec. (2018). *Faits saillants 2018*. Repéré à <https://www.apchq.com/download/61f803732537deb51cb9a589983b7f3c2734397a.pdf>
- Association des professionnels de la construction et de l'habitation au Québec. (2018). *Prévisions économiques 2018-2019*. Repéré à <https://www.apchq.com/files/pdf/previsions-economiques-2018-2019-Final.pdf>
- Association des professionnels de la construction et de l'habitation au Québec. (2019). *Bulletin de l'habitation, bilan 2019. Portrait du secteur de l'habitation pour les régions administratives*. Repéré à <https://www.apchq.com/download/18e43eef3064bdcc89ad4a217a01dc401caf4e25.pdf>
- ARCHIBIO. (2005). *La masse thermique ou inertie thermique*. 6p. Repéré à https://www.ecohabitation.com/media/archives/files/u872/FicheArchibio_MasseThermique.pdf
- Banque Royale. (2020). Prêt Énergie RBC. Repéré à <https://www.rbcroyalbank.com/fr/prets-personnels/pre-energie.html>
- Belvedair. (sd). Maison autonome, maison à énergie nette zéro. Repéré à <https://www.belvedair.ca/complement/design/maison-autonome-nette-zero>
- Belvedair. (2020). Maison écologique : accessible et abordable. Repéré à <https://www.belvedair.ca/complement/construction/maison-ecologique-accessible>
- Bolduc, B. (2009). Dalle de béton flottante : étape par étape, avantages et inconvénients. Repéré à <https://www.ecohabitation.com/guides/2187/dalle-de-beton-flottante-etape-par-etape-avantages-et-inconvenients/>
- Bolduc, L. et Duchaine, P. (2020). La certification WELL sous la loupe. Repéré à <https://www.ecohabitation.com/guides/3484/certification-well-pratique/>
- Bolduc, L. et Duchaine, P. (2018). Une maison autonome en électricité et en eau...20 ans plus tard. Repéré à <https://www.ecohabitation.com/guides/3324/une-maison-autonome-electricite-eau-20-ans-plus-tard/>
- Buyle M, Braet J, Audenaert A. (2013). Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, p. 379–88.
- Centre Canadien d'Hygiène et de Sécurité au Travail. (2020). Qualité de l'air intérieur - Généralités. Repéré à https://www.cchst.ca/oshanswers/chemicals/iaq_intro.html
- Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services [CIRAIG]. (2011). *Rapport final : Analyse du cycle de vie des impacts environnementaux découlant de l'implantation de mesures d'atténuation d'îlots de chaleur urbain*. Repéré à https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1322_ACVImpactsEnvironImplanMesuresAttenullotsChaleurUrbains.pdf
- Champagne, E-P. (2019). Le climat pourrait se réchauffer de 7 degrés d'ici 2100. Repéré à

<https://www.lapresse.ca/actualites/environnement/2019-09-18/le-climat-pourrait-se-rechauffer-de-7-degres-d-ici-2100>

- Collaboratif Montréal. (2014). *La certification Living building Challenge au Québec : défis et pistes de solutions*. Repéré à https://batimentdurable.ca/fichiers/rapportlbc_final_20140219.pdf
- Conseil du bâtiment durable du Canada. (2016). *Le bâtiment durable au Québec*. Repéré à https://www.cagbc.org/cagbcdocs/Le_B%C3%A2timent_Durable_Au_Canada_CaGBC_et_De_lphi_Rapport_Sommaire.pdf
- Conseil du bâtiment durable du Canada. (2020a). La norme BCZ : Information et ressources; Repéré à https://www.cagbc.org/CBDCA/carbone_zero/Information_et_Ressources/CBDCaSiteWeb/Carbone_Zero/carbone_zero.aspx?hkey=64d85999-031f-4eab-b51b-0158d194b3eb
- Conseil du bâtiment durable du Canada-Québec. (2020b). LBC - Living Building Challenge. Repéré à <https://batimentdurable.ca/construction-developpement-durable/living-building-challenge-2>
- Conseil du bâtiment durable du Canada. (2020c). Santé et bien-être. Repéré à https://www.cagbc.org/CBDCA/Sensibilisation/Sante_et_bien_etre/CBDCaSiteWeb/Ressources/Sante_et_bien_etre.aspx?hkey=23f399e0-26de-4ba0-a908-c702ef605c71
- Conseil du bâtiment durable du Canada. (2020d). Système d'évaluation LEED Canada. Repéré à <https://www.cagbc.org/CBDCA/CBDCaSiteWeb/Programmes/LEED/CommercialInstitutional/systdevalLEEDCan/Systemesevaluatio.aspx>
- Conseil du patronat au Québec [CPQ]. (2016). *Étude sur l'écosystème d'affaires de la construction au Québec*. Repéré à <https://www.cpq.qc.ca/wp-content/uploads/2016/04/cpq-construction270516.pdf>
- Conseil du patronat au Québec. (2018). *De l'achat et de l'approvisionnement local au Québec*. Repéré à <https://www.cpq.qc.ca/workspace/uploads/files/achat-et-approvisionnement-local-au-quebec.pdf>
- Construforce Canada. (2019). *Regard prospectif - construction et maintenance. Québec*. Repéré à https://www.constructionforecasts.ca/sites/forecast/files/highlights/2019/2019_Qc_Regard_Prospectif.pdf
- Commission de la Construction du Québec. (2020). L'industrie de la construction. Repéré à : <https://www.ccq.org/fr-CA/En-tete/qui-sommes-nous/industrie-de-la-construction>
- Commission de la Construction du Québec. (2019). *Statistiques annuelles de l'industrie de la construction 2019*. Repéré à https://www.ccq.org/-/media/Project/Ccq/Ccq-Website/PDF/Recherche/StatistiquesHistoriques/2019/Faits_saillans_tableaux.pdf
- Commission de la Construction du Québec. (2004). *Une industrie aux retombées économiques importantes*. Repéré à https://www.ccq.org/-/media/Project/Ccq/Ccq-Website/PDF/Recherche/DossiersSpeciaux/impacts_economiques.pdf
- Cosgrove, E. (2011). Combien coûte une maison écologique. Repéré à <https://www.ecohabitation.com/guides/1805/combien-coute-une-maison-ecologique/>
- Dales, R., Liu, L., Wheeler, A. J., et Gilbert, N. L. (2008). Quality of indoor residential air and health. *Cmaj*, 179(2), 147-152.
- Deffontaines, P. (1967). Évolution du type d'habitation rurale au Canada Français. Cahiers de géographie du Québec. Repéré à

<https://www.erudit.org/fr/revues/cgq/1967-v11-n24-cgq2598/020741ar/>

Dekhili, S., et Achabou, M. A. (2011). La course des entreprises vers la certification environnementale: quelles conséquences sur la crédibilité des écolabels et la confiance des consommateurs?. *Management Avenir*, (1), 294-310.

Desjardins. (2020). Offre habitation verte. Repéré à :
<https://www.desjardins.com/particuliers/prets-marges-cartes-credit/prets-hypothecaires/offre-habitation-verte/>

Deslauriers, J. et Gagné R. (2012). La performance économique de l'industrie de la construction au Québec. Repéré à
http://cpp.hec.ca/cms/assets/documents/recherches_publiees/PP_2012_02.pdf

Desrosiers, L.C., Tosser, A. (2014). L'habitation écologique au Québec : une grande étude du marché signé Ecohabitation. Repéré à
<https://www.ecohabitation.com/guides/1309/lhabitation-ecologique-au-quebec-une-grande-etude-de-marche-signee-ecohabitation/>

Dreyer, L.C, Niemann, A.L et Hauschild, M.Z. (2003). Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99. Does it matter which one you choose? Repéré à
<https://www.researchgate.net/publication/226327197>

Dubois, S., et Lebeau, F. (2014). Impact des matériaux biosourcés sur le climat intérieur: Un outil de calcul flexible à l'échelle de la pièce.

Ecohabitation. (2012a). Démarches et ressources : savoir s'organiser. Repéré à
<https://www.ecohabitation.com/guides/2812/demarches-et-ressources-savoir-sorganiser/>

Ecohabitation. (2012b). Le point sur le béton à contenu recyclé. Repéré à
<https://www.ecohabitation.com/guides/1565/le-point-sur-le-beton-a-contenu-recycle/>

Zizi, B. (2014) Living Building challenge : La certification la plus exigeante débarque au Québec. Repéré à
<https://www.ecohabitation.com/guides/1378/living-building-challenge-la-certification-la-plus-exigeante-debarque-au-quebec/>

Ecohabitation. (2012d). Immobilier : le marché de l'habitation durable. Repéré à :
<https://www.ecohabitation.com/guides/3094/le-marche-habitation-durable/>

Ecohabitation. (2013). Maison autonome ou pas? Repéré à
<https://www.ecohabitation.com/guides/2525/maison-autonome-ou-pas/>

Ecohabitation. (2009). Pourquoi l'habitation écologique ? Repéré à
<https://www.ecohabitation.com/guides/3189/pourquoi-lhabitation-ecologique/>

Ecohabitation (2012e). Qu'est-ce qu'une maison passive ? Repéré à :
<https://www.ecohabitation.com/guides/2755/quest-ce-quune-maison-passive/>

Ecohabitation. (2011). Recyc Gypse - pour la nature et l'environnement. Repéré à
<https://www.ecohabitation.com/guides/1735/recyc-gyspe-pour-la-nature-et-lenvironnement/>

Ecohabitation. (2014). Réduction de la consommation d'eau. Repéré à
<https://www.ecohabitation.com/guides/2910/reduction-de-la-consommation-deau/>

Edwards, B. W., et Naboni, E. (2013). *Green buildings pay: Design, productivity and ecology*. Routledge.

Equiterre. (2017). Analyse du cycle de vie de la maison du développement durable : l'impact des matériaux. Repéré à

<https://www.equiterre.org/publication/analyse-du-cycle-de-vie-de-la-maison-du-developpement-durable-limpact-des-materiaux>

Es-Cargo. (2019). Formation en permaculture et Earthship "Permacultivez l'autonomie". Juillet 2019

Faculty of Toronto. (2013). How good is green ? Repéré à <https://www.law.utoronto.ca/blog/construction/commitment-green>

Fournier, C. (2018). Que dit vraiment le rapport du GIEC 2018 sur le changement climatique ? Repéré à <https://youmatter.world/fr/rapport-giec-2018-resume-explication/>

Gagnon, F. (2020). Webinaire. Maisons Écologique. Québec

Ghodrati, N., Samari, M., et Shafiei, M. W. M. (2012). Green buildings impacts on occupants' health and productivity. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(8), 4235-4241.

Global Alliance for Buildings and Construction. (2019). *2019 Global Status Report for Buildings and Construction*. Repéré à <https://globalabc.org/sites/default/files/2020-03/GSR2019.pdf>

Gouvernement Canada. (2017). Eau. Repéré à <https://www.rncan.gc.ca/eau/16889>

Gouvernement Canada. (2020a). Énergie et les émissions de gaz à effet de serre (GES). Repéré à : <https://www.rncan.gc.ca/science-data/data-analysis/energy-data-analysis/energie-emissions-gaz-effet-serre-ges/20074>

Gouvernement Canda. (2018). Enjeux principaux - changements climatiques. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/organisation/transparence/brefage/enjeux-principaux-changements-climatiques.html>

Gouvernement canada. (2020a). *Portrait sectoriel du Québec 2018-2020 : Construction*. Repéré à http://www.edsc.gc.ca/img/edsc-esdc/jobbank/SectoralProfiles/QC/SP-QC-20182020-NAICS23_fr.pdf

Gouvernement Canada. (2020b) Rentabilité de l'énergie solaire au Canada. Repéré à <https://www.cer-rec.gc.ca/nrg/sttstc/lctrct/rprt/cnmcsfslrpwr/index-fra.html>

Hartmann, M. (2018). La maison autonome et résiliente. Repéré à <http://solutionera.com/habitation-ecologique/autonomie-energetique/maison-autonome-resiliente/>

Hugon, P. (2009). Le rôle des ressources naturelles dans les conflits armés africains. *Hérodote*, 134(3), 63-79. doi:10.3917/her.134.0170.

Huppé, V., Levasseur, V-H et Poulin, P. (2016). *Mesures d'adaptation pour une saine qualité de l'air intérieur dans un contexte de changements climatiques : revue de la littérature*. Repéré à https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2194_adaptation_emission_contaminants_interieur.pdf

Hydro-Québec, (2020a). Notre énergie est propre et renouvelable. Repéré à <http://www.hydroquebec.com/a-propos/notre-energie.html>

HydroQuébec. (2020b). Outils de calcul de la consommation, consommation selon les caractéristiques de l'habitation. Repéré à <http://www.hydroquebec.com/residentiel/espace-clients/consommation/outils/utilisation-electricite.html>

- Hydro-Québec; (2019). Portrait des ressources énergétiques d'Hydro-Québec. Repéré à <http://www.hydroquebec.com/data/achats-electricite-quebec/pdf/portrait-ressources-energetiques.pdf>
- Institut de la Statistique du Québec. (2018). *Impact économique pour le Québec*. Repéré à <https://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/economie/comptes-economiques/comptes-production/impact-economique-quebec-2017.pdf>
- Institut de la Statistique du Québec. (2019a). *Produit intérieur brut par industrie au Québec*. Repéré à <https://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/economie/comptes-economiques/comptes-production/pir/pir-202003.pdf>
- Institut de la Statistique du Québec. (2019b). *Résultats de l'Enquête sur la population active pour le Québec*. Repéré à <https://www.stat.gouv.qc.ca/docs-hmi/statistiques/travail-remuneration/resultats-epa-201907.pdf>
- International Living Future Institute. (2019). *Living Building Challenge 4.0, a visionary path to a regenerative future*. Repéré à <https://living-future.org/wp-content/uploads/2019/04/Living-Building-Challenge-4.0.pdf>
- International Well Buiding Institute. (sd). Well v2 pilot. Repéré à : <https://v2.wellcertified.com/v/en/overview>
- Jolliet, O., Saadé, M., et Crettaz, P. (2010). *Analyse du cycle de vie: comprendre et réaliser un écobilan* (Vol. 23). PPUR Presses polytechniques.
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley et Sons.
- La Presse. (2019). L'eau en Chiffre. Repéré à <https://www.lapresse.ca/suite/2019-07-14/bon-a-savoir/l-eau-en-chiffres>
- Laumbach, R., Meng, Q. et Kipen, H. (2015). What can individuals do to reduce personal health risks from air pollution? *Journal of Thoracic Disease*, 7(1), 96-107. doi : 10.3978/j.issn.2072-1439.2014.12.21
- Laurent, A., Clavreul, J., Bernstad, A., Bakas, I., Niero, M., Gentil, E., Christensen, T.H. et Hauschild, M.Z. (2014). Review of LCA studies of solid waste management systems - Part II: Methodological guidance for a better practice. *Waste Manag*, 34, 589-606. Repéré à <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X13005710>
- Lecomte, C. (2012). Je me forme en habitation écologique. Repéré à <https://www.ecohabitation.com/actualites/1100/je-me-forme-en-habitation-ecologique/>
- LegisQuébec. (2020a). Code de construction - Loi sur le bâtiment. Repéré à <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showDoc/cr/B-1.1,%20r.%202?&digest=>
- LégisQuébec. (2020b). Code de sécurité - Loi sur le bâtiment. Repéré à <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cr/B-1.1,%20r.%203>
- LegisQuebec. (2020c). Loi sur la Qualité de l'Environnement. Repéré à <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/q-2>
- LegisQuébec. (2020d). Loi sur la régie de l'Énergie. Repéré à <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/R-6.01>
- Lessard Y., (2017). *Modélisation de l'influence de la sélection des matériaux sur le profil environnemental du cycle de vie d'un bâtiment à bureaux : évaluation critique de LEED V4*. (Mémoire de maîtrise). Université de Sherbrooke. Sherbrooke, Québec

- Mangold, M. (2016). La maison individuelle « durable », une écologie de « bonne conscience »?. *Sciences de la société*, (98), 110-125.
- Maréchal, J. (2009). Le changement climatique, un enjeu international majeur du XXI^e siècle. *Géoéconomie*, 50(3), 93-100. doi:10.3917/geoec.050.0093.
- Ministère de l'Agriculture, Pêcherie et Alimentation. (2020). Élevage de poules en ville. Repéré à <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Productions/agricultureurbaine/trucsconseils/Pages/elevagedepouleenville.aspx>
- Ministère de l'Économie et de l'Innovation. (sd). *S'informer/Construction*. Repéré à <https://www.economie.gouv.qc.ca/objectifs/informer/par-secteur-dactivite/construction/>
- Ministère de l'Environnement et Lutte contre les changements climatiques. (2020). À propos du développement durable. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/developpement/definition.htm>
- Ministère de l'Environnement et Lutte contre les changements climatiques. (sd). *Gestion des résidus du secteur de la construction, de la rénovation et de la démolition (CRD)*. Repéré à <http://www.environnement.gouv.qc.ca/matieres/FicheInformationCRD.pdf>
- Ministère de l'Environnement et Lutte contre les changements climatiques. (2015). Guide d'interprétation du règlement sur l'application de l'article 32 de la Loi sur la Qualité de l'Environnement. Repéré à http://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/art32/Guide_interpretation.pdf
- Mitsubishi electric. (2014). Report finds positive correlation between green building and workplace environments. Repéré à <https://mehvac-blog.com/report-finds-positive-correlation-between-green-building-and-workplace-environments/>
- Mosteiro-Romero M, Krogmann U, Wallbaum H, Ostermeyer Y, Senick JS, Andrews CJ. (2014). Relative importance of electricity sources and construction practices in residential buildings: A Swiss-US comparison of energy related life-cycle impacts. *Energy and Buildings*, 68, p. 620–31.
- ObjectifNord (sd). Énergie. Repéré à : <http://objectifnord.telequebec.tv/explorer/liste/energie/energie>
- Office québécois de la langue française [OQLF]. (2012). Fiche terminologique. Dépense en immobilisation. Repéré à http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=501065
- Organisation mondiale de la Santé ; (2019). A la COP25, appel à l'action collective face à l'urgence climatique. Repéré à <https://news.un.org/fr/story/2019/12/1057921>
- Organisation mondiale de la Santé. (2016). L'OMS publie les estimations nationales de l'exposition à la pollution de l'air et les effets sur la santé. Repéré à <https://www.who.int/fr/news-room/detail/27-09-2016-who-releases-country-estimates-on-air-pollution-exposure-and-health-impact>
- Ortiz O, Castells F, Sonnemann G. (2009). Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, 23, 1, p. 28–39.
- Pant, R., Van Hoof, G., Schowanek, D., Feijtel, T.C.J., de Koning, A., Hauschild, M., Pennington, D.W., Olsen, S.I. et Rosenbaum, R. (2004) Comparison between three different LCIA methods for aquatic ecotoxicity and a product environmental risk assessment—insights from a detergent case study within OMNIITOX. *Int J Life Cycle Assess*, 9, 295-306.

- Paradis, M-M. (2011). Analyse de la réglementation entourant l'implantation d'infrastructures d'énergies renouvelables en milieu urbain. (*Essai de maîtrise*). Université de Sherbrooke. Sherbrooke, Québec.
- Pineau, P-O et Whitmore, J. (2020). *L'État de l'énergie au Québec*. 61p Repéré à https://energie.hec.ca/wp-content/uploads/2020/03/EEQ2020_WEB.pdf
- Poirier, V. (2013). Diagnostic de la maison pavillonnaire québécoise durable : entrevues auprès d'architectes et de professionnels du milieu. (*Essai de maîtrise*). Université de Sherbrooke. Sherbrooke, Québec.
- Radio-Canada. (2018). De plus en plus de gens, de moins en moins d'eau. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1098859/ressources-eau-monde-stress-hydrique-monde>
- RadioCanada. (2019). Le scénario du pire : un réchauffement de 7°C d'ici 2100. Repéré à <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1304143/changements-climatiques-7degres-giec>
- Recyc-Québec. (2012); Dis-moi quel matériaux tu es, je te dirai quel matériau tu deviendras. Repéré à <https://www.ecohabitation.com/guides/2325/dis-moi-quel-materiau-tu-es-je-te-dirai-quel-materiau-tu-deviendras/>
- Recyc-Québec. (2018a). *Étude sur le gypse résiduel au Québec : Analyse de la filière de recyclage*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/etude-gypse-residuel-deloitte.pdf>
- Recyc-Québec. (2019). *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles : plan d'action 2019-2024*. 21 p.
- Recyc-Québec. (2018b). *Résidus de construction, de rénovation et de démolition*. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/Fiche-info-crd.pdf>
- Régie de l'énergie du Canada. (2017). Panorama de l'électricité renouvelable au Canada 2017 - Analyse des marchés de l'énergie. Repéré à <https://www.cer-rec.gc.ca/nrg/sttstc/lctrct/rprt/2017cndrnwblpwr/prvnc/qc-fra.html>
- Régie du bâtiment. (2010). Explicatif sur les principaux changements au Code de construction Québec, chapitre V - Électricité. Repéré à <https://www.rbq.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/Publications/francais/cahier-explicatif-changement-electricite.pdf>
- Régie du bâtiment. (2020). Normes de construction. Repéré à <https://www.rbq.gouv.qc.ca/vous-etes/citoyen/construire-ou-renover/effectuer-les-travaux-soi-meme/normes-de-construction.html>
- Roy, E. (2015). Analyse du marché immobilier montréalais : la place du bâtiment durable. (*Essai de maîtrise*). Université de Sherbrooke. Sherbrooke, Québec.
- Rushi Mendes Saade M. (2019). L'impact environnemental des bâtiments : avons-nous perdu la vue d'ensemble ? Repéré à <https://www.sciencepresse.qc.ca/blogue/2019/04/25/impact-environnemental-batiments-avons-nous-perdu-vue-ensemble>
- Santé Canada. (2019). Les effets de la pollution de l'air sur la santé. Repéré à <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/qualite-air/effets-pollution-air-interieur-sante.html>
- Sénat Canada. (2018). Réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant de l'environnement bâti au Canada. Repéré à

https://sencanada.ca/content/sen/committee/421/ENEV/reports/ENEV_Batiments_FINAL_f.pdf

- Schmidt K. H. C. (2012). La surconsommation de l'eau potable au Québec, analyse critique des engagements gouvernementaux et solutions proposées. Repéré à https://www.usherbrooke.ca/environnement/fileadmin/sites/environnement/documents/Essais2011/Culhuac_K__03-02-2012_.pdf
- Serfati, C. et Le Billon, P. (2007). Guerres pour les ressources : une face visible de la mondialisation. *Écologie et politique*, 34(1), 15-31. doi:10.3917/ecopo.034.0015.
- Sillaro E. (2017) AU Québec, ce couple vit depuis douze ans dans sa maison autonome. Repéré à <https://www.bioalaune.com/fr/actualite-bio/35886/quebec-couple-vit-douze-ans-maison-autonome-earthship>
- Simard E. (2009). Les matériaux de construction résidentielle dans une perspective durable : analyse comparative. (*Essai de Maîtrise*). Université de Sherbrooke. Sherbrooke, Québec.
- Société canadienne d'Hypothèque et de logement. (2018). SCHL Maison écolo. Repéré à <https://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/buying/mortgage-loan-insurance-for-consumers/cmhc-green-home>
- Solution Era. (2019a). Autonomie en eau - récupération d'eau de pluie. Repéré à <http://solutionera.com/habitation-ecologique/serre-autonomie-alimentaire/autonomie-recuperation-eau-pluie/>
- SolutionEra. (2019b). Habitation écologique et municipalités - normes de construction. Repéré à <http://solutionera.com/habitation-ecologique/reglementation-construction/habitation-ecologique-municipalite-normes-construction/>
- SolutionEra. (2020a). L'habitat autonome : faire face à toute éventualité. Repéré à <http://solutionera.com/habitation-ecologique/autonomie-energetique/habitat-autonome-faire-face-toute-eventualite/>
- SolutionEra. (2020b). Maison autosuffisante, résilience et simplicité volontaire. Repéré à <https://solutionera.com/habitation-ecologique/autonomie-energetique/maison-autosuffisante-resilience-simplicite-volontaire/>
- SolutionEra. (2019b). Mini-maison autonome au Québec. Repéré à https://www.youtube.com/watch?v=5ZKh36_D9tl
- Soumissionrenovation. (2019a). Construction d'une maison écologique : 10 choses à savoir. Repéré à <https://soumissionrenovation.ca/fr/blogue/construction-maison-ecologique-10-choses>
- Soumissionrenovation. (2019b). L'autoconstruction : un projet encadré par la loi. Repéré à <https://soumissionrenovation.ca/fr/blogue/autoconstruction-projet-encadre-loi>
- Statistique Canada. (2020). Caractéristiques des ménages, selon le mode d'occupation, y compris le statut d'accédant à la propriété. Repéré à <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=4610004501&pickMembers%5B0%5D=1.19&pickMembers%5B1%5D=2.1>
- Statistique Canada. (2015). *La réduction de la taille des ménages au cours du dernier siècle*. Repéré à <https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/pub/11-630-x/11-630-x2015008-fra.pdf?st=ZJTzdZIE>
- Statistique Canada. (2020). *Produit intérieur brut (PIB) aux prix de base, par industries, moyenne annuelle (x 1 000 000)*. Repéré à <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3610043403>

- Thériault, N. (2011). Dans le cadre d'une ACV, conception d'un outil d'aide à la sélection d'un jeu de catégories d'impact pour les entreprises européennes et Nord-Américaines du secteur textile. (Essai de maîtrise). Centre Universitaire De Formation En Environnement Université De Sherbrooke (CUDE), Sherbrooke, Québec, Canada
- Thompson, M., Ellis, R., et Wildavsky, A.B. (1990). *Cultural Theory*. Boulder, Colorado: Westview Press.
- Transition Énergétique Québec. (2020a). Découvrez comment viser l'efficacité énergétique, diminuer votre facture d'énergie et améliorer le confort de votre habitation. Repéré à <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/residentiel>
- Transition Énergétique Québec. (2020b). Pour une relance verte et résiliente - Transition énergétique Québec bonifie ses programmes. Repéré à <https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/nouvelles/actualites/detail/relance-verte-teq-bonifie-programmes>
- Upton. (2013). *Influence architecturale. La maison traditionnelle québécoise*. Repéré à http://www.upton.ca/wp-content/uploads/2013/04/MRC_Acton_Fiches_architecturales_FINAL-1.compressed.pdf
- Vallières, M. (2020). L'économie canadienne vers sa pire année en 60 ans, selon la Banque Nationale. Repéré à <https://www.lapresse.ca/affaires/economie/2020-04-07/l-economie-canadienne-vers-sa-pire-annee-en-60-ans-selon-la-banque-nationale>
- Villeneuve, C., Riffon, O. et Tremblay, D. (2016). Comment réaliser une analyse de développement durable? Grille d'analyse de développement durable (GADD) de la Chaire en éco-conseil. Département des sciences fondamentales, Université du Québec à Chicoutimi, en partenariat avec l'OIF/IFDD
- VoirVert.ca. (2016). Well Building Standard. Repéré à : <https://www.voirvert.ca/savoir/ressources/certifications-batiments/well-building-standard>
- Walter, E. (2012). Plans, conception, le moment décisif. Repéré à <https://www.ecohabitation.com/guides/2394/plans-conception-le-moment-decisif/>
- Walter E. et Lecomte C. (2012). Une toiture durable, efficace, et respectueuse de l'environnement. Repéré à <https://www.ecohabitation.com/guides/2386/une-toiture-durable-efficace-et-respectueuse-de-lenvironnement/>
- World Green Building Council. (2018). A Guide to healthier homes and a healthier planet. Repéré à https://www.worldgbc.org/sites/default/files/20181204_WGBC_Homes-Research-Note_FINAL_spreads.pdf
- White, J. (2005). *La pièce annexe réinventée, Nouvelles opportunités de design pour la maison québécoise contemporaine*. Québec, Université Laval, 196 p.
- Wiper, F. (2020) Webinaire, les maisons écologiques pour la paix dans le monde. Québec.
- WSP. (2019). Que nous réservent les futures analyses du cycle de vie des bâtiments ? Repéré à <https://www.wsp.com/fr-CA/insights/que-nous-reservent-les-futures-analyses-du-cycle-de-vie-des-batiments>
- Zabalza Bribián I, Capilla AV, Usón AA. (2011). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*, 46, 5, p. 1133–40.

ANNEXES

ANNEXE 1 : INVENTAIRES DE CYCLE DE VIE DE LA MAISON AUTONOME ET DE LA MAISON TRADITIONNELLE

Inventaire de cycle de vie de la maison autonome (Tiré de : Athena, 2020)

Material	Unit	Total Quantity	Columns & Beams	Floors	Foundations	Roofs	Walls	Project Extra Materials	Mass Value	Mass Unit
#15 Organic Felt	m2	370,6953	0,0000	0,0000	0,0000	370,6953	0,0000	0,0000	0,2705	Tonnes
1/2" Glass Mat Gypsum Panel	m2	300,4144	0,0000	102,1933	0,0000	102,1933	96,0277	0,0000	2,9731	Tonnes
6 mil Polyethylene	m2	289,7087	0,0000	0,0000	98,5515	98,5515	92,6056	0,0000	0,0435	Tonnes
Aluminum Clad Wood Window Frame	kg	176,5635	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	176,5635	0,0000	0,1766	Tonnes
Blown Cellulose	m2 (25mm)	2 598,3559	0,0000	0,0000	0,0000	1 524,1859	1 074,1700	0,0000	1,6629	Tonnes
Cedar Wood Bevel Siding	m2	268,8775	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	268,8775	0,0000	1,1374	Tonnes
Concrete Benchmark CAN 15 MPa	m3	4,8774	0,0000	4,8774	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	11,1689	Tonnes
Concrete Benchmark CAN 25 MPa	m3	19,4986	0,0000	0,0000	19,4986	0,0000	0,0000	0,0000	45,4205	Tonnes
Cross Laminated Timber	m3	18,6463	0,0000	10,4473	0,0000	0,0000	8,1990	0,0000	8,8654	Tonnes
Expanded Polystyrene	m2 (25mm)	481,7782	0,0000	0,0000	481,7782	0,0000	0,0000	0,0000	0,3469	Tonnes
Galvanized Sheet	Tonnes	0,0217	0,0000	0,0000	0,0000	0,0217	0,0000	0,0000	0,0217	Tonnes
GluLam Sections	m3	0,5735	0,5735	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2680	Tonnes
Hollow Structural Steel	Tonnes	0,1461	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1461	0,0000	0,1461	Tonnes
Large Dimension Softwood Lumber, kiln-dried	m3	1,6518	0,0000	0,0000	0,0000	1,6518	0,0000	0,0000	0,6989	Tonnes
MBS Metal Roof Cladding - Commercial (24 Ga.)	m2	109,4707	0,0000	0,0000	0,0000	109,4707	0,0000	0,0000	0,6264	Tonnes
Nails	Tonnes	0,0588	0,0000	0,0000	0,0057	0,0191	0,0339	0,0000	0,0588	Tonnes
Oriented Strand Board	m2 (9mm)	275,9373	0,0000	0,0000	0,0000	154,0247	121,9125	0,0000	1,6110	Tonnes
Screws Nuts & Bolts	Tonnes	0,0233	0,0000	0,0105	0,0000	0,0019	0,0109	0,0000	0,0233	Tonnes

Material	Unit	Total Quantity	Columns & Beams	Floors	Foundations	Roofs	Walls	Project Extra Materials	Mass Value	Mass Unit
Water Based Latex Paint	L	150,7369	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	150,7369	0,0000	0,1131	Tonnes
Welded Wire Mesh / Ladder Wire	Tonnes	0,0840	0,0000	0,0000	0,0840	0,0000	0,0000	0,0000	0,0840	Tonnes
Photovoltaic panels	Unit	0	0	0	0	36	0	0	0.7560	Tonnes
Triple Glazed Hard Coated Argon	m2	11,8455	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	11,8455	0,0000	0,2953	Tonnes
Small Dimension Softwood Lumber, kiln-dried	m3	3,4738	0,6194	0,0000	0,0000	0,0000	2,8544	0,0000	1,4699	Tonnes

Inventaire de cycle de vie de la maison traditionnelle (Tiré de : Athena, 2020)

Material	Unit	Total Quantity	Columns & Beams	Floors	Foundations	Roofs	Walls	Project Extra Materials	Mass Value	Mass Unit
#15 Organic Felt	m2	370,6953	0,0000	0,0000	0,0000	370,6953	0,0000	0,0000	0,2705	Tonnes
1/2" Glass Mat Gypsum Panel	m2	271,0508	0,0000	102,1933	0,0000	102,1933	66,6641	0,0000	2,6825	Tonnes
6 mil Polyethylene	m2	1 322,1916	0,0000	0,0000	1 159,3516	98,5515	64,2885	0,0000	0,1983	Tonnes
Aluminum Window Frame	kg	100,4718	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	100,4718	0,0000	0,1005	Tonnes
Cold Rolled Sheet	Tonnes	0,0122	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0122	0,0000	0,0122	Tonnes
Concrete Benchmark CAN 15 MPa	m3	4,8774	0,0000	4,8774	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	11,1689	Tonnes
Concrete Benchmark CAN 25 MPa	m3	220,3862	0,0000	0,0000	220,3862	0,0000	0,0000	0,0000	513,3721	Tonnes
Cross Laminated Timber	m3	18,5852	0,0000	10,4473	0,0000	0,0000	8,1379	0,0000	8,8363	Tonnes
Double Glazed No Coating Air	m2	26,3181	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	26,3181	0,0000	0,4262	Tonnes
Expanded Polystyrene	m2 (25mm)	28,4813	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	28,4813	0,0000	0,0205	Tonnes

Material	Unit	Total Quantity	Columns & Beams	Floors	Foundations	Roofs	Walls	Project Extra Materials	Mass Value	Mass Unit
Extruded Polystyrene	m2 (25mm)	5 203,8871	0,0000	0,0000	5 203,8871	0,0000	0,0000	0,0000	6,4008	Tonnes
Galvanized Sheet	Tonnes	0,5634	0,0000	0,0000	0,0000	0,0217	0,5417	0,0000	0,5634	Tonnes
GluLam Sections	m3	0,5735	0,5735	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2680	Tonnes
Hollow Structural Steel	Tonnes	0,1461	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1461	0,0000	0,1461	Tonnes
Large Dimension Softwood Lumber, kiln-dried	m3	1,6518	0,0000	0,0000	0,0000	1,6518	0,0000	0,0000	0,6989	Tonnes
Mortar	m3	1,7641	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,7641	0,0000	3,3307	Tonnes
MW Batt R20	m2 (25mm)	738,9725	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	738,9725	0,0000	0,9764	Tonnes
MW Batt R40	m2 (25mm)	755,2095	0,0000	0,0000	0,0000	755,2095	0,0000	0,0000	0,9979	Tonnes
Nails	Tonnes	0,1109	0,0000	0,0000	0,0618	0,0191	0,0300	0,0000	0,1109	Tonnes
Ontario (Standard) Brick	m2	63,6339	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	63,6339	0,0000	7,6997	Tonnes
Oriented Strand Board	m2 (9mm)	275,0291	0,0000	0,0000	0,0000	154,0247	121,0043	0,0000	1,6057	Tonnes
Rebar, Rod, Light Sections	Tonnes	20,5232	0,0000	0,0000	20,5232	0,0000	0,0000	0,0000	20,5232	Tonnes
Roofing Asphalt	kg	1 333,5436	0,0000	0,0000	0,0000	1 333,5436	0,0000	0,0000	1,3335	Tonnes
Screws Nuts & Bolts	Tonnes	0,0221	0,0000	0,0105	0,0000	0,0010	0,0106	0,0000	0,0221	Tonnes
Small Dimension Softwood Lumber, kiln-dried	m3	2,8031	0,6194	0,0000	0,0000	0,0000	2,1837	0,0000	1,1861	Tonnes
Solvent Based Alkyd Paint	L	2,5793	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	2,5793	0,0000	0,0019	Tonnes
Welded Wire Mesh / Ladder Wire	Tonnes	0,0840	0,0000	0,0000	0,0840	0,0000	0,0000	0,0000	0,0840	Tonnes

ANNEXE 2 : LISTE DES INDICATEURS SÉLECTIONNÉS DES NORMES AFNOR
(Tiré de Robitaille, 2015)

Dimension environnementale (NF EN 15978)	Indicateurs sélectionnés
Thèmes et objectifs	
Impacts environnementaux	x
Potentiel de réchauffement global	x
Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique	x
Potentiel d'acidification des sols et de l'eau	x
Potentiel d'eutrophisation	x
Potentiel de formation d'ozone troposphérique	x
Potentiel d'épuisement pour les ressources abiotiques non fossiles	x
Potentiel d'épuisement pour les ressources abiotiques fossiles	x
Utilisation des ressources	x
Quantité d'énergie	x
<i>Quantité d'énergie provenant de l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et de la biomasse</i>	x
<i>Quantité d'énergie provenant de l'énergie fossile</i>	x
Quantité de matière	x
<i>Quantité de matière première</i>	x
<i>Quantité de matière secondaire</i>	x
Quantité de combustibles secondaires	
<i>Quantité de combustibles secondaires renouvelables</i>	
<i>Quantité de combustibles secondaires non renouvelables</i>	
Utilisation nette de l'eau	x
Catégorie de déchets	x
Quantité de déchets dangereux éliminés	
Quantité de déchets non dangereux éliminés	x
Quantité de déchets radioactifs éliminés	
Flux sortants	x
Quantité de composants destinés à la réutilisation	x
Quantité de matériaux destinés au recyclage	x
Quantité de matériaux destinés à la récupération d'énergie	x
Quantité d'énergie fournie à l'extérieur	

Dimension sociale (NF EN 16309+A1)	Indicateurs sélectionnés
Thèmes et objectifs	
Accessibilité	
Accessibilité aux installations du bâtiment	
Proximité des services et transports en commun	
Aisance de circulation à l'intérieur du bâtiment	
Facilité d'utilisation pour des personnes ayant des besoins spécifiques (personnes handicapées, âgées, etc.)	
Accès aux équipements techniques	
Opérabilité des installations sanitaires et des systèmes (pour le chauffage, la climatisation, etc.)	
Adaptabilité	
Adaptabilité du bâtiment à répondre aux exigences de chaque utilisateur	x
Aptitude du bâtiment à répondre aux changements climatiques	x
Aptitude du bâtiment à répondre aux changements techniques	x
Aptitude du bâtiment à répondre aux changements d'utilisation	
Santé et confort	

Confort thermique	x
<i>Caractéristiques associées à la structure du bâtiment</i>	x
<i>Caractéristiques associées aux utilisateurs et au système de contrôle</i>	
Qualité de l'air à l'intérieur du bâtiment	x
<i>Caractéristiques associées à la structure du bâtiment</i>	x
<i>Caractéristiques associées aux utilisateurs et au système de contrôle</i>	
Confort acoustique	x
<i>Structure du bâtiment favorisant une bonne isolation acoustique</i>	
Confort visuel	
<i>Caractéristiques associées à la structure du bâtiment</i>	x
<i>Caractéristiques associées aux utilisateurs et au système de contrôle</i>	
Confort spatial	
<i>Surface de plancher</i>	
<i>Hauteur du sol au plafond</i>	
<i>Espace extérieur</i>	
Impact sur le voisinage	
Bruit	
<i>Structure du bâtiment favorisant une bonne isolation acoustique</i>	
<i>Présence d'écrans acoustiques extérieurs</i>	
Émissions vers l'extérieur	
<i>Présence d'un système de contrôle des émissions provenant du bâtiment</i>	
Éblouissement et occultation	
Chocs / Vibrations	
Maintenance et maintenabilité	
Opération de maintenance	
<i>Fréquence et durée des opérations de maintenance courante, de réparation, de remplacement et/ou de réhabilitation</i>	
<i>Impacts sur la santé et le confort des utilisateurs pendant les travaux de maintenance</i>	
<i>Sécurité des utilisateurs pendant les travaux de maintenance</i>	
<i>Utilisabilité du bâtiment pendant les travaux de maintenance</i>	
Sécurité et sûreté	x
Résistances aux conséquences des perturbations climatiques	x
<i>Résistance à la pluie</i>	
<i>Résistance au vent</i>	
<i>résistance à la neige</i>	
<i>Résistance aux inondations</i>	
<i>Résistance aux rayonnements solaires</i>	
Résistance aux actions accidentelles	
<i>Résistance aux tremblements de terre</i>	
<i>Résistance aux explosions</i>	
<i>Performance au feu</i>	
<i>Impact du trafic routier</i>	
Sécurité et sûreté personnelles contre les intrusions et le vandalisme	
<i>Caractéristiques associées à la structure du bâtiment</i>	
<i>Caractéristiques associées aux utilisateurs et au système de contrôle</i>	
Sécurité contre les coupures d'alimentation	x

Dimension économique (PR NF EN 16627)	Indicateurs sélectionnés
Thèmes et objectifs	
Coûts	x
<i>Achat du bâtiment</i>	
<i>Achat du terrain</i>	
<i>Valeur nette ajustée</i>	
Coûts annuels en cours d'utilisation	
<i>Frais résultant des conditions d'utilisation</i>	
<i>Maintenance/entretien</i>	
<i>Consommation d'énergie</i>	x
<i>Consommation d'eau</i>	x
Coûts périodiques en cours d'utilisation	
<i>Réparation</i>	
<i>Remplacement</i>	
<i>Réhabilitation</i>	
Coûts en fin de vie	
<i>Destruction, démantèlement et/ou démolition</i>	
<i>Transport</i>	
<i>Traitement des déchets</i>	x
<i>Élimination</i>	x
Revenus (flux monétaires intrants)	
Réutilisation	
Recyclage	
Valorisation énergétique	

ANNEXE 3 : LISTE D'INDICATEURS SÉLECTIONNÉS DE LA GRILLE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE UQAC.

(Tiré de Villeneuve et al, 2017)

Dimension écologique (UQAC)		Indicateurs sélectionnés
Thèmes et objectifs		
1. Écosystèmes		x
1.1	Développer des connaissances sur les écosystèmes et sur les espèces qui en dépendent	
1.2	Préserver les écosystèmes continentaux	x
1.3	Limiter la dégradation biologique, chimique et physique des sols	x
1.4	Lutter contre la désertification	
1.5	Préserver les écosystèmes marins et littoraux	x
1.6	Fixer des objectifs de restauration des écosystèmes dégradés	
2. Biodiversité		x
2.1	Favoriser la protection de la biodiversité	x
2.2	Protéger des espèces rares, menacées et à statut précaire	
2.3	Valoriser les espèces à valeur symbolique	
3. Ressources		x
3.1	Conserver les ressources essentielles au maintien de la vie dans les écosystèmes	x
3.2	Faire le choix des ressources de moindre impact	x
3.3	Planifier une utilisation judicieuse des ressources renouvelables	x
3.4	Planifier une utilisation judicieuse des ressources non renouvelables	x
3.5	Optimiser les ressources en fin de vie	x
4. Extrants		x
4.1	Caractériser les extrants et leurs impacts dans l'environnement	x
4.2	Minimiser les extrants	x
4.3	Minimiser les impacts	
4.4	Assurer une saine gestion des déchets dangereux	x
4.5	Limiter les émissions des polluants globaux	x
5. Usage du territoire		
5.1	Optimiser l'utilisation du territoire	
5.2	Limiter les conflits d'usages	
5.3	Maintenir la diversité des paysages	
6. Changement climatique		x
6.1	Quantifier les émissions de gaz à effet de serre	x
6.2	Réduire les émissions des GES	x
6.3	Augmenter les puits de carbone	
6.4	Compenser les émissions de GES	
6.5	Prévoir des mesures d'adaptation à la nouvelle donne climatique -- résilience	x

Dimension économique (UQAC)		Indicateurs sélectionnés
Thèmes et objectifs		
1. Production responsable		x
1.1	Produire des biens et services de qualité	x
1.2	S'assurer de l'adéquation entre les besoins et les biens et services produits	x
1.3	Favoriser l'écoconception dans une perspective cycle de vie	x
1.4	Promouvoir une industrialisation durable	x
1.5	Appliquer la responsabilité élargie des producteurs	
2. Consommation responsable		x
2.1	Favoriser l'accès aux biens et services	x
2.2	Favoriser l'achat et la consommation responsables	x
2.3	Favoriser l'investissement responsable	x
3. Viabilité économique		x
3.1	S'assurer de la viabilité économique	x
3.2	Favoriser les sources de financement responsables	x
3.3	Limiter les risques financiers	

3.4	Limitier la rémunération du capital	
4. Travail		
4.1	Favoriser l'accès à une occupation	
4.2	S'assurer d'une juste valeur pour le travail des personnes	
5. Richesse et prospérité		
5.1	Simuler les échanges entre les personnes et les sociétés	
5.2	Viser une croissance de la richesse	
5.3	Instaurer des pratiques de tourisme durable	
5.4	Limitier les possibilités de fuites de capitaux	
6. Énergie		
6.1	Assurer l'accès à des services énergétiques faibles à un coût abordable	
6.2	Favoriser l'utilisation de l'énergie à moindre impact	
6.3	Planifier une utilisation judicieuse de l'énergie	
7. Entrepreneuriat		
7.1	Développer une culture entrepreneuriale	
7.2	Soutenir la capacité d'entreprendre	
7.3	Assurer l'accès équitable aux moyens de production de la richesse	
8. Modèles économiques		
8.1	Éliminer les distorsions des modèles économiques	
8.2	Valoriser l'économie sociale et solidaire	
8.3	Maintenir ou intégrer les modèles économiques traditionnels à l'économie dominante	
8.4	Soutenir les modèles économiques émergents et novateurs	

Dimension sociale (UQAC)		Indicateurs sélectionnés
Thèmes et objectifs		
2. Eau		x
2.1	Assurer un approvisionnement en eau potable à tous	x
2.2	Assurer la qualité adéquate pour l'approvisionnement en eau selon les usages	x
2.3	Assurer l'accès à des services d'assainissement et d'hygiène adéquats	x
2.4	Renforcer la participation de la population à la maîtrise de l'eau et à l'amélioration de la gestion de l'eau	x
3. Alimentation		x
3.1	Assurer l'accès à la nourriture	x
3.2	Assurer la qualité nutritionnelle des aliments	
3.3	Assurer la sécurité alimentaire	
3.4	Favoriser la souveraineté alimentaire	
3.5	Mettre en œuvre des pratiques agricoles et de pêcheries durable	x
4. Santé		x
4.1	Améliorer et maintenir l'état de santé des populations	x
4.2	Assurer l'accès aux services de santé	
4.3	Promouvoir les actions préventives en santé, les environnements sains et l'adoption de saines habitudes de vie	
4.4	Réduire les facteurs susceptibles de causer des problèmes de santé mentale	
4.5	Répondre aux besoins spécifiques de santé maternelle et infantile	
4.6	Réduire les nuisances	x
5. Sécurité		
5.1	Créer un sentiment de sécurité	
5.2	Assurer une sécurité effective	
5.3	Assurer l'éducation de base à la sécurité	
6. Éducation		
6.1	Assurer l'accès à un système qui permet une éducation de qualité	
6.2	Assurer une éducation de base fonctionnelle pour tous	
6.3	Favoriser l'accès de chacun à son niveau d'éducation désiré	
6.4	Permettre l'accès à une éducation et à une formation continue	
6.5	Éduquer au développement durable et à la citoyenneté	
7. Collectivité et implication		
7.1	Promouvoir l'implication	
7.2	Valoriser et reconnaître l'accomplissement personnel et collectif	

7.3	Favoriser la cohésion sociale	
7.1	Favoriser la connectivité	
7.2	Permettre le développement de l'estime de soi et de la confiance en soi	
7.3	Améliorer l'autonomie et la résilience des collectivités	
8. Établissements humains		x
8.1	Assurer l'accès au logement	x
8.2	Favoriser la mobilité durable	x
8.3	Aménager des infrastructures durables	x
8.4	Promouvoir des villes et des établissements humains durables	x
8.5	Sécuriser et fiabiliser le domaine foncier	
8.6	Viser l'équité et la solidarité territoriale	
9. Genre		
9.1	Viser l'égalité des droits sans distinction des genres	
9.2	Viser l'équité entre les genres	
9.3	Autonomiser les femmes et les filles	

ANNEXE 4 : Grille d'analyse de durabilité

Indicateurs / Critères	Grille UQAC	Normes AFNOR	ACV	Définition	Valeur du critère (1 à 3)	Niveau de performance [-3;3]	Total
Dimension écologique							
Préservation des écosystèmes et de la biodiversité							
Favoriser la protection de la biodiversité	x			Favoriser la connaissance et la protection des habitats naturels et le maintien des populations vivables dans le milieu	2	3	6
Préserver les écosystèmes continentaux et marins	x			Préserver l'intégrité, la qualité et la productivité des écosystèmes continentaux et marins	2	3	6
Limiter la dégradation biologique, chimique et physique des sols	x	x		Réduire les actions susceptibles de dégrader la qualité des sols et de diminuer leur capacité à rendre des services écosystémiques	2	2	4
Utilisation des ressources							
Ressources énergétiques							
Quantité d'énergie provenant de l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, géothermique et de la biomasse	x	x		Favoriser l'utilisation d'énergie renouvelable	2	1	2
Ressources matières							
Faire le choix des ressources de moindre impact	x	x		Faire le choix des ressources utilisées en prenant en considération l'impact de leur exploitation, de leur transformation et usages	2	3	6
Extrants							
Minimiser les impacts	x	x		Prévenir et limiter les impacts négatifs des extrants relâchés dans la nature	3	3	9
Valorisation des déchets	x	x		Favoriser la valorisation des matériaux en fin de vie	2	2	4
Impacts environnementaux							
Prévoir des mesures d'adaptation à la nouvelle donne climatique	x			Mettre en place des mesures pour réduire la vulnérabilité et les conséquences liées au changement climatique. Faire réaliser	3	3	9
Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique		x	x	Impacts environnementaux de la structure sur son milieu	3	2	6
Potentiel d'acidification des sols et de l'eau		x	x		3	3	9
Potentiel d'eutrophisation		x	x		3	0	0
Potentiel d'épuisement pour les ressources		x	x		3	3	9
Potentiel de transformation de terres naturelles			x		3	3	9
Potentiel occupation des terres agricoles			x		3	1	3
Potentiel hausse humaine			x		3	1	3
Potentiel d'écoulement terrestre			x		3	-3	-9
Potentiel d'écoulement marin			x		3	3	9
Potentiel de réchauffement global		x	x		3	3	9
Augmenter les puits de carbone	x			Améliorer la capacité de capture de carbone comme les forêts, par plantation d'arbres ou de plantes	1	1	1
Réduire les émissions des GES	x			Mettre en place des mesures, actions ou projets visant à réduire les quantités de GES émis par une activité	1	2	2
Usage du territoire							
Maintenir la diversité des paysages	x			Restaurer, préserver ou favoriser la diversité des paysages naturels et humains	2	2	4
Dimension sociale							
Adaptabilité							
Adaptabilité du bâtiment à répondre aux exigences de chaque utilisateur		x		Capacité du bâtiment à répondre aux besoins des occupants	2	1	2
Adaptabilité du bâtiment à répondre aux changements climatiques	x	x		Permettre de s'adapter aux variations climatiques futures	2	2	4
Adaptabilité du bâtiment à répondre aux changements techniques		x		Capacité d'ajustement continu, de maintenance	1	0	0
Santé et confort							
Améliorer et maintenir l'état de santé des occupants	x	x		Permettre d'assurer la santé et le bien-être des occupants	2	3	6
Structure assurant une bonne qualité de l'air intérieur du bâtiment		x			2	3	6
Structure du bâtiment favorisant une bonne isolation thermique		x			2	3	6
Structure du bâtiment favorisant une bonne isolation acoustique		x			2	2	4
Réduire les nuisances	x	x		Limiter les facteurs de nuisant à la qualité de vie ou à la santé (pollution visuelle, lumineuse, sonore, vibratoire, ondes, poissières)	2	3	6
Etablissements humains							
Favoriser la mobilité durable	x			L'habitation est proche des lieux de travail et épiceries, les transports durables (vélo, marche) ou transports collectifs sont privilégiés	1	1	1
Aménager des infrastructures durables	x			Planifier et aménager à l'échelle des territoires, des structures à caractère collectif et résidentiel	1	3	3
Promouvoir des villes et des établissements humains durables	x			Promouvoir l'implantation et la transformation de villes et établissements durables et résiliants	1	2	2
Dimension économique							
Production et consommation responsable							
Produire des biens et services de qualité	x			Favoriser la production et l'accès aux biens et services de la plus grande qualité	2	2	4
Favoriser l'écoconception dans une perspective cycle de vie	x			Rechercher l'optimisation des ressources en minimisant les impacts sur l'environnement et en maximisant les retombées socio-économiques	2	1	2
Favoriser l'achat et la consommation responsables	x			Consommer local	3	2	6
Appliquer la responsabilité élargie des producteurs	x			S'assurer que les producteurs assument la responsabilité de leur produit tout au long de leur cycle de vie	2	1	2
Favoriser l'investissement responsable	x			Identifier les personnes et organismes à investir de façon responsable	1	2	2
Viabilité économique							
Consommation eau et énergie		x		Dépendre moins des consommations	3	3	9
S'assurer de la viabilité économique	x			S'assurer que le projet allie un bon niveau de viabilité économique	2	3	6
Total de la performances de la maison autonome							160